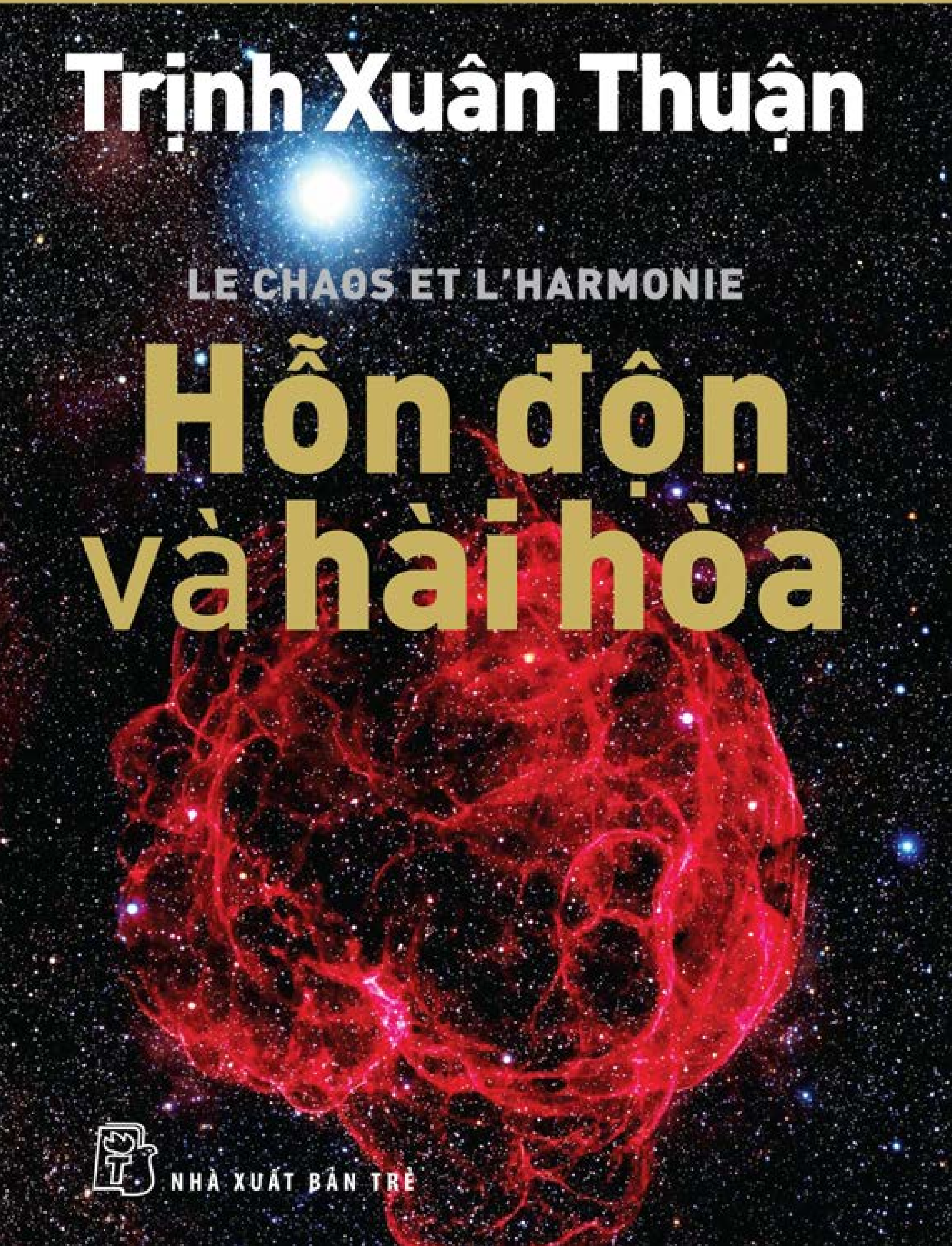
KHOA HỌC KHÁM PHÁ

Trịnh Xuân Thuận

LE CHAOS ET L'HARMONIE

Hỗn độn và hài hòa



NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Hỗn độn và hài hòa

KHOA HỌC KHÁM PHÁ

Chủ biên

PHẠM VĂN THIỀU

VŨ CÔNG LẬP

NGUYỄN VĂN LIỄN

http://khoahocvakhampha.com.vn

BIỂU GHI BIÊN MỤC TRƯỚC XUẤT BẢN ĐƯỢC THỰC HIỆN BỞI THƯ VIỆN KHTH TP.HCM
General Sciences Library Cataloging-in-Publication Data

Trịnh Xuân Thuận, 1948-
Hỗn độn và hài hòa / Trịnh Xuân Thuận ; Phạm Văn Thiều và Nguyễn Thanh Dương dịch. - T.P. Hồ Chí Minh : Trẻ, 2013.
630 tr. : 74 minh họa ; 20 cm.
Nguyên bản : Le chaos et l'harmonie.

1. Sự sống. 2. Tiến hóa. 3. Khoa học -- Triết học. I. Phạm Văn Thiều. II. Nguyễn Thanh Dương. III. Ts: Le chaos et l'harmonie.

113.8 -- dc 22
T833-T53

Trịnh Xuân Thuận

Phạm Văn Thiều - Nguyễn Thanh Dương *dịch*

LE CHAOS ET L'HARMONIE

Hỗn độn và hài hòa



NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Để tưởng nhớ cha tôi và kính tặng
những ai đi tìm kiếm cái đẹp và sự hài hòa

LỜI CẢM ƠN CỦA DỊCH GIẢ

Trong quá trình dịch cuốn sách này, chúng tôi đã nhận được sự giúp đỡ và khích lệ của nhiều người, đặc biệt là các ông, bà: Vũ Hoài Ân, Đặng Hữu Hưng, Vũ Khúc, Nguyễn Thị Nhiễm, Hoàng Phong, Nguyễn Chi Phương, Đỗ Quốc Sam và Nguyễn Thiện Trường. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn tất cả.

—NHỮNG NGƯỜI DỊCH

LỜI NÓI ĐẦU

Vào cuối thế kỷ XX, thế giới quan của chúng ta đã thật sự bị đảo lộn. Quan niệm của Newton về một vũ trụ rời rạc, cơ giới và tất định đã từng thống trị tư tưởng phương Tây trong suốt 300 năm, đã bị thay thế bằng quan niệm về một thế giới tổng thể, bất định và dồi dào sức sáng tạo.

Đối với Newton, vũ trụ chỉ là một cỗ máy khổng lồ được tạo thành bởi những hạt vật chất trơ ì chịu sự chi phối của những lực mù quáng. Xuất phát từ một số ít quy luật vật lý, lịch sử của một hệ thống có thể hoàn toàn được giải thích và tiên đoán, nếu người ta biết rõ đặc tính của nó tại một thời điểm nhất định. Tương lai đã nằm trong hiện tại và quá khứ; và về một phương diện nào đó, thời gian hầu như đã bị loại bỏ. Đến nỗi chúng ta phải đối mặt với một sự lưỡng phân kỳ lạ: một bên là những quy luật của Tự nhiên bất biến và vĩnh hằng, bên kia là một thế giới biến động và ngẫu nhiên; một bên là những quy luật vật lý không hề biết đến phương hướng của thời gian, còn bên kia là một thời gian nhiệt động học và tâm lý học luôn hướng về phía trước. Một tòa lâu đài không được bảo dưỡng sẽ sụp đổ thành đống hoang tàn, một bông hoa sớm muộn gì rồi cũng tàn úa và cùng với thời gian, mái tóc sẽ bạc

dần. Đó là những quá trình không thể đảo ngược. Vũ trụ đã bị giam hãm trong một vòng kiềm tỏa cứng nhắc, tước đi của nó mọi sức sáng tạo và cấm đoán mọi sự đổi mới. Tất cả những cái đó đều đã được sắp đặt từ trước, không gì có thể thay đổi bất ngờ. Điều này gợi nhớ đến một câu nói bất hủ của F. Hegel: "Chẳng có gì mới trong thế giới Tự nhiên cả". Đó là một thế giới mà ở đó quy giản luận (*réductionism*) chế ngự như một chúa tể. Chỉ cần tháo dỡ mọi hệ thống phức tạp thành những phần đơn giản nhất và nghiên cứu hoạt động của các phần ấy là hiểu được cái toàn bộ, bởi vì cái toàn bộ chỉ là tổng số học của các bộ phận cấu thành không hơn không kém. Có một mối quan hệ trực tiếp giữa nhân và quả. Quy mô của "quả" luôn tỷ lệ với cường độ của "nhân" và có thể được xác định từ trước. Đó là điều không thể thay đổi.

Quyết định luận (*determinism*) gò bó và cằn cỗi, cũng như quy giản luận cứng nhắc và làm mất tính người này đã thắng thế cho đến cuối thế kỷ XIX. Các thuyết đó đã bị đẩy lùi, biến dạng và cuối cùng đã bị quét sạch bởi một quan niệm mới gây hứng khởi và tự do hơn rất nhiều trong suốt thế kỷ XX. Cái chiều kích lịch sử đã mạnh mẽ đi vào các ngành khoa học. Cái ngẫu nhiên chiếm một vị trí hoàn toàn riêng biệt trong các lĩnh vực khoa học đầy biến động như vũ trụ học, vật lý thiên văn, địa chất học, sinh học và di truyền học. Hiện thực không chỉ được xác định bởi các quy luật của Tự nhiên áp dụng cho những điều kiện ban đầu cụ thể nào đó, mà nó còn bị nhào nặn và tác động bởi hàng chuỗi những sự kiện ngẫu nhiên và có tính lịch sử. Một số tình tiết này đã làm biến đổi và đảo lộn hiện thực ở mức độ sâu xa nhất, thậm chí là nguồn gốc sự tồn tại của chính chúng ta. Chẳng hạn sự kiện cách đây 65 triệu năm, có một thiên thạch va đập vào Trái đất làm tuyệt chủng loài khủng long nhưng lại tạo thuận lợi cho sự tăng sinh các loài động

vật có vú. Cú va chạm ngẫu nhiên đó là nguyên nhân dẫn đến sự xuất hiện của loài người. Cái ước mơ mà Laplace nêu ra vào thế kỷ XVIII về một trí tuệ có thể "thâu tóm trong cùng một công thức chuyển động của các thiên thể lớn nhất đến các nguyên tử nhỏ nhất", và đối với trí tuệ đó, thì "không có gì là bất định cả...., tương lai cũng như quá khứ, đều là hiện tại dưới con mắt của trí tuệ đó" - điều mơ tưởng đó nay đã tan thành mây khói.

Sự xâm nhập của chiều kích lịch sử không phải là cái duy nhất đem lại sự giải phóng cho thế giới tự nhiên. Chính những định luật vật lý giờ đây cũng đã mất đi tính cứng nhắc cố hữu của nó. Với sự ra đời của Cơ học lượng tử vào đầu thế kỷ XX, cái ngẫu nhiên và cái phóng túng đã lừng lững đi vào thế giới nội nguyên tử. Và sự chắc chắn tẻ nhạt, mang tính tất định đã bị thay thế bằng tính bất định của sự nhòe lượng tử. Quy giản luận chật hẹp và đơn giản hóa quá mức đã bị quét sạch, đồng thời hiện thực bị chia nhỏ và mang tính cục bộ giờ đây trở nên mang tính tổng thể. Thế giới vĩ mô cũng như vậy: với lý thuyết hỗn độn, tính ngẫu nhiên và tính bất định không những tràn vào đời sống hàng ngày, mà còn tràn vào thế giới các hành tinh, các vì sao và các thiên hà. Cái ngẫu nhiên tràn vào một thế giới được điều chỉnh một cách quá tỉ mỉ. Mối quan hệ nhân - quả giản đơn không còn được chấp nhận nữa. Quy mô của "quả" không phải bao giờ cũng tỷ lệ với cường độ của "nhân". Một số hiện tượng rất nhạy cảm với những điều kiện ban đầu, nhạy cảm đến mức chỉ cần một sự thay đổi nhỏ nhặt nhất của các điều kiện này cũng có thể dẫn đến những biến đổi không thể lường trước được trong những bước tiến triển về sau, khiến cho mọi tiên đoán đều là vô ích. Henri Poincaré từ năm 1908 đã nói: "Một cái "nhân" nhỏ xíu mà ta không để ý lại quyết định một cái "quả" rất lớn không thể không nhận thấy, và lúc đó chúng ta nói

rằng cái "quả" đó là do ngẫu nhiên mà có". Cách nói đó cũng chẳng khác cách nói của Laplace bao nhiêu.

Rũ bỏ được sự kiềm tỏa của quyết định luận, Tự nhiên có thể mặc sức sáng tạo. Các quy luật vĩnh hằng của vật lý cung cấp cho Tự nhiên những đề tài tổng quát, từ đó nó có thể tô vẽ và ứng tác mọi điều. Các quy luật này vạch ranh giới cho địa hạt của những cái có thể, và đề xuất những tiềm năng. Và chính Tự nhiên sẽ là người thực hiện. Tự nhiên cũng là người quyết định số phận và xác định tương lai của mình. Để tạo ra độ phức tạp, Tự nhiên phải dựa vào tính không cân bằng trong chừng mực mà các cấu trúc chỉ nảy sinh từ tình trạng ngoài cân bằng. Sự đối xứng chỉ lý thú vào thời điểm nó bị phá vỡ. Chỉ có tách ra khỏi cân bằng, vật chất mới sinh ra được những cái chưa từng có. Trật tự hoàn hảo thật cằn cỗi, sự mất trật tự được kiểm soát luôn dẫn đến sáng tạo, còn hỗn độn tất định là cái luôn đem lại những điều mới mẻ. Thế giới tự nhiên luôn đổi mới, nó sáng tạo ra những hình dáng đẹp và đa dạng. Các hình dáng đó không được biểu diễn bằng những đoạn thẳng hoặc bằng những hình kỷ hà học đơn giản, nhưng bằng những đường cong phức tạp hơn mà Benoit Mandelbrot gọi là hình "fractal". Vật chất được cấu thành theo quy luật của tổ chức và theo những nguyên lý của tính phức tạp để có được những tính chất "đột sinh", cái mà ta không thể suy ra từ việc nghiên cứu các thành phần cấu tạo nên nó. Quy giản luận rõ ràng đã chết. Cái tự do mà Tự nhiên giành lại được đã rọi một tia sáng mới vào tính lưỡng phân cũ, giữa các quy luật vật lý vĩnh hằng và bất di bất dịch, với thế giới không vĩnh cửu, vô thường và ngẫu nhiên: Tự nhiên tồn tại *trong* thời gian bởi vì nó có thể đổi mới và sáng tạo theo các quy luật *ở ngoài* thời gian.

Tôi muốn vạch ra ở đây sự phát triển của các ý tưởng dẫn đến cái thế giới quan mới mẻ này. Quyển sách được bố cục như sau:

Chương I nói về chân lý và cái đẹp. Hoạt động khoa học thường bị coi là lạnh lùng và phi nhân tính, không có bất kỳ một tình cảm thẩm mỹ nào. Sự thật không phải như vậy.

Chương II kể về lịch sử của Hệ Mặt trời để minh chứng rằng thực tại là cái được xác định, ở mọi cấp độ, bởi tác dụng phối hợp của cả cái tất định và cái bất định, của cái ngẫu nhiên và cái tất yếu. Khi nghiên cứu sự ra đời của Mặt trời và các hành tinh, chúng ta phát hiện ra rằng những va chạm của các thiên thạch với Trái đất không chỉ là nguyên nhân tạo ra vẻ đẹp của hoa mùa xuân và ánh sáng êm dịu của Mặt trăng, mà còn là nguyên nhân tồn tại của chính chúng ta nữa.

Chương III diễn tả lý thuyết hỗn độn. Bằng các ví dụ rút ra từ vật lý thiên văn, từ khí tượng học, kinh tế học, sinh học và cả y học nữa, chúng ta có thể thấy hỗn độn đã giúp cho Tự nhiên thực hiện được các tiềm năng của nó để làm ra thực tại như thế nào.

Chương IV chứng minh rằng Tự nhiên đã sử dụng các nguyên lý đối xứng tinh tế để áp đặt một sự thống nhất sâu sắc như thế nào đối với thế giới vật lý. Chẳng hạn, các nguyên lý đối xứng đã cho phép chúng ta thống nhất điện với từ, thời gian với không gian. Chúng ta cũng sẽ tới thăm các "lỗ đen", ở đó cặp thời gian - không gian đã đạt tới trạng thái kỳ lạ nhất của nó.

Trong *Chương V* chúng ta đi vào thế giới các nguyên tử. Chúng ta sẽ thấy rằng ngự trị tại đây là sự nhòe lượng tử, và thực tại không còn là khách quan nữa mà phụ thuộc vào người quan sát. Chúng ta cũng sẽ xem xét các nguyên lý đối xứng đã giúp chúng ta thiết lập trật tự trong sự đa dạng đáng ngạc nhiên của các hạt, và làm cho chúng ta tiến gần đến lý thuyết thống nhất các lực cơ bản của Tự nhiên như thế nào. Chúng ta sẽ mô tả lý thuyết mới nhất

nói rằng các hạt cơ bản chỉ là sự dao động của các "dây" cực nhỏ trong một không-thời gian mười chiều!

Chương VI mô tả Tự nhiên đã thực hiện sự sáng tạo như thế nào khi mà hỗn độn và sự nhòe lượng tử đã trao cho nó tự do. Chúng ta cũng xem xét việc Tự nhiên thực hiện các tiềm năng chứa đựng trong các quy luật vật lý, để sáng tạo sự sống ra sao. Chúng ta sẽ thấy rằng sự sống trong bất kỳ trường hợp nào cũng không thể được cắt nghĩa theo cách nhìn thuần túy quy giản luận: cơ thể sống lớn hơn tổng của các nguyên tử và phân tử cấu tạo nên cơ thể đó. Ở đây chúng ta phải cần đến các nguyên lý "đột sinh" của sự tự tổ chức và tính phức tạp. Các nguyên lý này tác động theo cách tổng thể, trên quy mô toàn cục của cơ thể đó.

Chương VII bàn về "tính hiệu quả đến phi lý" của con người trong việc tìm hiểu vũ trụ. Không chỉ các quy luật vật lý được điều chỉnh một cách cực kỳ chính xác để cho sự sống xuất hiện, mà nó còn cho phép xuất hiện cả ý thức nữa. Tại sao các quy luật này lại có một bản chất toán học? Phải chăng con người tìm hiểu vũ trụ để đem lại cho nó một ý nghĩa?

Tác phẩm này nhằm dành cho các "chính nhân", những người không có một hành trang kỹ thuật, nhưng tò mò muốn biết không chỉ những điều kỳ lạ mới nhất của khoa học ở thế kỷ XX mà cả những hệ quả triết học và thần học của những thành tựu đó. Trong khi viết, tôi đã cố gắng giữ cho được tính chính xác và chặt chẽ đồng thời cũng sử dụng một ngôn ngữ không quá chuyên môn. Để giải thích các khái niệm khoa học khó, tôi thường dùng đến các hình tượng. Để tạo điều kiện thuận lợi cho bạn đọc, tôi cũng đã tập hợp và in ở cuối sách những thuật ngữ chuyên môn ít thông dụng cùng với định nghĩa hoặc giải thích ngắn gọn của các thuật

ngữ đó. Tôi cũng đã đưa vào trong sách nhiều hình vẽ và ảnh để minh họa cho những lập luận của mình và cũng để làm cho cuốn sách tươi tắn hơn.

—*TRỊNH XUÂN THUẬN*
Paris, tháng 4 năm 1997

CHƯƠNG
MỘT

CHÂN LÝ VÀ CÁI ĐẸP

Một người đàn ông và một người đàn bà

Paris - một ngày xuân đẹp. Trong một quán cà phê, một người đàn ông ngồi thưởng thức cốc bia và đọc báo. Ở bàn bên, một người đàn bà vừa ngồi nhấm nháp tách cà phê vừa nhìn khách bộ hành qua lại. Họ không nhìn thấy nhau. Bỗng người đàn ông quay đầu lại. Ánh mắt của anh ta bắt gặp ánh mắt người đàn bà. Lập tức, một loạt các sự kiện diễn ra: ánh sáng vàng óng của Mặt trời phản chiếu từ tấm thân thon thả của người đàn bà, đi thẳng vào cặp mắt người đàn ông. Với tốc độ 300.000 km/s, 10.000 tỷ hạt ánh sáng (được gọi là photon) cứ mỗi giây lại xuyên qua đồng tử mắt của người đàn ông. Các hạt đó trước hết đi qua một bộ phận hình bầu dục gọi là thủy tinh thể, rồi xuyên qua một chất keo trong suốt trước khi đi vào võng mạc.

Vũ điệu trong võng mạc

Trong võng mạc, 100 triệu tế bào hình nón bắt đầu hoạt động. Một số tế bào nhận được một lượng lớn ánh sáng đến từ các mảng

sáng nhất trên cơ thể người đàn bà, như làn môi ướt mọng được bôi son đỏ bóng. Những tế bào khác nhận được ít ánh sáng hơn, từ các mảng tối hơn của cơ thể người đàn bà, như đôi má được thoa lớp phấn mỏng. Các tế bào của võng mạc được cấu thành bởi vô số các phân tử. Mỗi phân tử lại bao gồm 20 nguyên tử cacbon, 28 nguyên tử hyđrô và 1 phân tử ôxy. Các phân tử đó ghi nhận ánh sáng bằng cách thực hiện một vũ điệu balê kỳ lạ. Khi võng mạc không bị ánh sáng tác động, phân tử của võng mạc sáp nhập với một protein và co lại. Nhưng khi một hạt ánh sáng đập vào, phân tử của võng mạc lại tách khỏi protein và dựng đứng lên (mỗi giây, ánh sáng phản chiếu từ người đàn bà đập vào 30 triệu tỷ phân tử trong mắt người đàn ông). Một khoảng thời gian sau, các phân tử lại co lại trong khi chờ đợi hạt ánh sáng tiếp theo đập vào.

Các nơron đi vào hoạt động

Tất cả các sự kiện nói trên diễn ra trong khoảng thời gian không đầy một phần nghìn giây kể từ khi ánh mắt người đàn ông bắt gặp ánh mắt người đàn bà. Tuy vậy, người đàn ông vẫn chưa cảm nhận được ngay sự hiện diện của người đàn bà, bởi vì thông tin chứa đựng trong các hạt ánh sáng chưa đi tới não anh ta. Vũ điệu của các phân tử trong võng mạc trước tiên mới chỉ làm lay động các nơron trong con mắt, rồi sau mới đến các nơron trong não. Các phân tử trên bề mặt các nơron thay đổi hình dạng khi đụng phải làn sóng của các ion natri (các hạt tích điện dương) trong dung dịch bao quanh chúng, và gây ra một dòng điện truyền lan từ nơron này đến nơron khác, từ mắt cho đến não. Trong vỏ não, mỗi nơron làm công việc tổng hợp thông tin được chuyển tải bởi hàng nghìn nơron, trước khi, đến lượt mình, các nơron này lại chuyển tải một lần nữa thông tin đã được phân tích cho hàng nghìn nơron khác.

Đại bộ phận trong số hàng trăm tỷ nơron của não người, được kết nối với nhau bởi các mạch hết sức phức tạp, cùng làm việc để xử lý thông tin. Các làn sóng kali và natri ngừng lại tùy thuộc chúng có bị các nơron chặn lại hay không. Các dòng điện không ngừng lưu chuyển trong các mạch nơron, khởi phát những luồng phân tử có nhiệm vụ truyền đi các tín hiệu. Các tín hiệu này lại kích thích các nơron khác; và dòng điện nổ lép bép khắp nơi. Trong vòng vài phần nghìn giây hình ảnh được tái hiện trong não người đàn ông và cuối cùng, anh ta đã nhìn thấy người phụ nữ. Anh ta nhận thấy mái tóc người đàn bà màu vàng cắt ngắn, cặp mắt to màu xanh và bộ quần áo màu nâu sẫm bó sát người, đầu hơi cúi, ra chiều tư lự.

Người đàn bà quay đầu nhìn lại, bắt gặp ánh mắt người đàn ông, nàng nở một nụ cười và thốt lên một lời "chào". Ngay tức khắc vô vàn những phân tử không khí chuyển động, sự rung động của các phân tử truyền âm thanh phát ra từ thanh quản người đàn bà, đến tai người đàn ông. Hai người ngồi cách nhau hai mét và âm thanh đến tai người nghe trong vòng $1/150$ giây sau đó. Màng nhĩ (dầy 1mm) của tai người đàn ông cũng rung lên. Các rung động này được truyền qua dịch thủy trong ốc nhĩ. Sự giải mã các âm thanh được thực hiện ở đây. Một màng mỏng bắt đầu dao động hòa cùng các rung động của dịch thủy. Trong màng mỏng ấy có vô vàn những sợi nhỏ với độ dầy mỏng khác nhau giống như những dây đàn, chúng ngân lên bởi giọng nói người phụ nữ và tái tạo ra âm tiết "chào". Cuối cùng các âm thanh chuyển qua dây thần kinh thính giác rồi chuyển đến vỏ não. Và người đàn ông nghe được tiếng "chào" của người phụ nữ.

Tất cả các quá trình đó mọi người đều biết. Những tiến bộ của môn sinh học - não càng ngày càng làm sáng tỏ thêm những điều huyền bí của bộ não con người. Song còn có những điều mà con

người chưa hiểu hết. Đó là quá trình làm nẩy sinh ý nghĩ, chợt lóe lên trong đầu người đàn ông như một tia chớp: "Cô ta mới đẹp làm sao!".

Thiên nhiên rất đẹp

Cái đẹp là gì? Chúng ta chưa có một ý niệm nào về cách thức mà bộ não của chúng ta nhận biết cái đẹp của tạo hóa. Chẳng những thế, chúng ta còn ít có khả năng hơn khi nói đến cái đẹp bằng từ ngữ thật chính xác. Và vì thế cũng thật là mạo hiểm khi nói đến cái đẹp trong lĩnh vực khoa học. Nhưng đó lại chính là điều tôi muốn nói ở đây.

Người ta thường coi hoạt động khoa học là một công việc thuần túy lý tính. Nó loại trừ mọi cảm xúc. Vật lý là một môn khoa học cụ thể và chính xác, ở đó mọi tình cảm thẩm mỹ đều bị loại trừ. Những phán xét về giá trị đều không có chỗ đứng. Chỉ có những sự kiện lạnh lùng và khách quan mà thôi. Tuy vậy, nhà khoa học cũng như người nghệ sĩ đều nhạy cảm với vẻ đẹp của thiên nhiên. Nhiều cuộc công du đến các đài thiên văn đã không hề làm suy giảm sự thích thú luôn luôn mới lạ của tôi khi đứng trước những thắng cảnh với một vẻ đẹp kỳ vĩ, cách rất xa ánh sáng của nền văn minh. Tôi luôn cảm thấy choáng ngợp trước cảnh tượng lộng lẫy, khô cằn mà hoành tráng của hoang mạc Arizona, nơi hiện lên sừng sững Đài thiên văn Kitt Peak; cũng như cảnh tượng không khác gì cung trăng, trơ trụi chẳng có loài cây cỏ nào trên ngọn núi lửa Mauna Kea (Hawaii) đã tắt, nơi mà những ống kính thiên văn cỡ lớn mọc lên như nấm. Tôi luôn hồi hộp khi thấy những cánh tay hình xoắn ốc của một thiên hà nào đó, ở cách xa hàng tỉ năm ánh sáng, hiện trên màn hình nối với ống kính thiên văn.

Nếu thiên nhiên rất đẹp thì lý gì các lý thuyết diễn tả nó lại không đẹp như thế? Nhà khoa học cũng như nhà thơ, tại sao họ lại không thể để cho các cảm xúc về cái đẹp bổ sung cho những nhận xét lý tính của mình? Các nhà bác học vĩ đại nhất đã trả lời rất rõ ràng câu hỏi này. Nhà toán học Pháp H. Poincaré (1854-1912) nói: "Nhà khoa học không nghiên cứu Tự nhiên vì mục đích vị lợi. Ông ta nghiên cứu vì tìm thấy trong công việc sự thích thú và tìm thấy sự thích thú bởi Tự nhiên rất đẹp. Nếu Tự nhiên không đẹp thì nó không đáng được nghiên cứu, và cuộc sống cũng không đáng để sống nữa". Poincaré còn bổ sung cho định nghĩa về cái đẹp như sau: "Tôi nói đến cái đẹp thầm kín nảy sinh từ sự hài hòa giữa các bộ phận mà một trí tuệ thuần khiết có thể cảm nhận được". Nhà vật lý người Đức Werner Heisenberg (1901-1976), một trong những cha đẻ của môn vật lý lượng tử, đã đáp lại tiếng nói từ đáy lòng của Poincarré, ông nói: "Nếu Tự nhiên dẫn dắt chúng ta đến các hình thức toán học hết sức đơn giản và đẹp đẽ - bằng từ "hình thức" tôi muốn nói đến những hệ thống nhất quán các giả thuyết, các tiền đề v.v... - mà trước đó chưa có một ai nhận thấy, thì chúng ta không thể không nghĩ rằng đó là những cái có thực, rằng chúng hé lộ khía cạnh hiện thực của Tự nhiên... Bạn chắc cũng đã cảm thấy điều đó: tính đơn giản đáng kinh ngạc và toàn bộ mối liên hệ chằng chịt mà Tự nhiên đột nhiên bày ra trước mắt chúng ta, và đối với những cái đó chúng ta chưa thật sẵn sàng". Chính Albert Einstein (1879-1955) cũng viết ở đoạn cuối bài báo về Thuyết tương đối rộng rằng: "Tất cả những ai hiểu về lý thuyết này sẽ không thoát khỏi ma lực của nó". "Trật tự hài hòa", "Tính đơn giản", "Sự nhất quán", "Ma lực". Đó là tất cả những gì để định nghĩa "cái đẹp" trong khoa học.

Tính tương đối của cái đẹp

Cái đẹp mà nhà vật lý nói đến rất khác với cái đẹp mà người nhạc sĩ cảm nhận khi nghe bản xônát của Mozart hay bản fuga của Bach, hoặc cái đẹp mà người yêu nghệ thuật tìm thấy khi đứng trước các bức họa: *Những vũ nữ* của Degas (1834-1917), *Những quả táo* của Cézanne (1839-1906) hay *Hoa súng* của Monet (1840-1926). Cái đẹp đó cũng không giống với cái đẹp mà người đàn ông (nói ở đầu chương) cảm nhận thấy ở người đàn bà ngồi bên kia. Vẻ đẹp của người phụ nữ tuân thủ các tiêu chí được xác định trong khung cảnh văn hóa, xã hội, tâm lý và cả sinh học nữa. Những phụ nữ mũm mĩm của Rubens (1577-1640) hoặc của Renoir (1841-1919) không phù hợp với mẫu người đẹp ngày nay. Trong những năm 60, dáng thon dài của Twiggy là khuôn mẫu cho thân thể đàn bà. Vẻ đẹp của phụ nữ phương Đông cũng khác với vẻ đẹp của phụ nữ phương Tây, cho dù các chiến dịch tuyên truyền trên báo chí cho mỹ phẩm đã tìm cách áp đặt các chuẩn mực của vẻ đẹp phương Tây trên khắp thế giới và dẫn đến những lệch lạc trong một số phụ nữ châu Á, làm cho cặp mắt của họ trở thành phóng túng hơn.

Ngay trong lĩnh vực nghệ thuật cũng có các hiện tượng "theo mốt". Van Gogh (1853-1890) đã chết trong cảnh nghèo khổ. Ông đã từng thất vọng vì không bán được các bức họa của mình. Nửa thế kỷ sau, các họa phẩm của ông đã được mua với cái giá ngàn vàng. Những cảm nhận về cái đẹp cũng rất khác nhau trong các nền văn hóa khác nhau. Những quy ước của hội họa thể hiện qua bức tranh của Hokusai (1760-1849) về núi Phú Sĩ không giống với các quy ước của Cézanne khi ông vẽ núi Saint-Victoire. Vẻ đẹp khôn tả của ngôi đền Taj Mahal (Ấn Độ) hoàn toàn khác với vẻ đẹp lộng lẫy của nhà thờ Chartres. Vì vậy, nếu ai đó muốn định nghĩa thế nào là cái đẹp thì thật táo gan. Giống như tình yêu và sự

căm ghét, người ta chỉ cảm nhận được nó khi mà những tình cảm ấy xâm chiếm tâm hồn, song cũng khó có thể mô tả bằng lời.

Cái đẹp của các đồ vật lọt vào mắt của người nhìn thấy chúng. Vẻ đẹp ấy có thể xuất hiện ở mọi góc phố, len lỏi trong các đồ vật thường dùng của chúng ta, chỉ cần chúng ta để tâm ngắm nhìn là thấy. Một bông hoa, một cái cây hôm qua còn là một vật bình thường, bởi vì tâm trí của chúng ta bị cuốn hút vào những việc khác, nhưng hôm nay chính các vật ấy lại đột nhiên đánh thức giác quan thẩm mỹ của chúng ta; đúng như triết gia Arthur Schopenhauer (1788-1860) đã nói, chúng ta chẳng cần chú ý đến "nơi chốn, thời gian, cũng chẳng cần biết tại sao, để làm gì, khi nhìn các vật ấy. Chúng ta chỉ thuần túy và đơn giản chú ý đến bản chất tự nhiên của chúng mà thôi". Bởi vì chúng ta không để cho "những ý tưởng trừu tượng cũng như những nguyên tắc của lý lẽ chiếm lĩnh tâm thức của mình. Thay vì những cái đó, chúng ta hướng toàn bộ trí năng vào trực giác". Schopenhauer giải thích: "Khi người ta hoàn toàn đắm chìm trong trực giác, và trong tâm thức của người ta chỉ còn đầy ắp một vật thể tự nhiên hiện diện: cảnh vật, cây cối, tảng đá, tòa lâu đài...; vào lúc mà người ta quên đi cái bản ngã của mình, cái ý chí của mình và người ta chỉ tồn tại như một chủ thể thuần túy, như một tấm gương trong phản chiếu vật thể, cứ như vật thể chỉ tồn tại một mình, không ai nhìn thấy nó, không gì có thể phân biệt chủ thể với trực giác nữa, và rồi chủ thể và trực giác hòa nhập vào nhau thành một thực thể duy nhất, một tâm thức duy nhất hoàn toàn bị xâm chiếm và lấp đầy bởi một hình ảnh trực quan và duy nhất; và cuối cùng, khi vật thể thoát ra khỏi mọi mối liên hệ với ý chí, thì lúc đó vật thể không còn là riêng biệt với tư cách là cái cụ thể nữa, mà chỉ còn là ý tưởng, là Hình thái vĩnh cửu".

Nếu như không có những tiêu chí khách quan để đánh giá cái đẹp trong sự sáng tạo của con người, liệu chúng ta có thể hy vọng nêu ra được một tiêu chí về cái đẹp trong các công trình khoa học hay chăng? Liệu chúng ta có thể xây dựng một hệ thống mỹ học trong khoa học để đánh giá cái đẹp của Tự nhiên, của sự xếp đặt có tổ chức của nó? Có thể đưa ra một lời xác nhận, bởi vì trái ngược với vẻ đẹp của phụ nữ và của đồ vật, vẻ đẹp của một lý thuyết vật lý không phải là tương đối mà mang tính phổ quát. Vẻ đẹp đó có thể được đánh giá bởi một nhà khoa học ở bất cứ đâu, thuộc bất kỳ nền văn hóa nào. Một nhà vật lý học Việt Nam có thể ca ngợi giá trị của thuyết tương đối rộng cũng sắc sảo như một nhà vật lý người Pháp vậy.

Mặc dù đã có những lời khích lệ của Schopenhauer rằng hãy gạt lý lẽ sang một bên và để mặc cho trực giác nắm bắt cái đẹp, tôi sẽ thử thực hiện cái việc khá nguy hiểm là khoanh khái niệm về cái đẹp trong một lý thuyết vật lý. Tôi sẽ không đưa ra một định nghĩa cụ thể nào vì việc làm đó chắc chắn sẽ thất bại. Tôi chỉ xin liệt kê và minh họa một danh mục những đặc tính mà một lý thuyết khoa học đẹp cần phải có.

Cái đẹp trong khoa học

Trước hết từ "Đẹp" ở đây không hề liên quan với cái đẹp tạo hình của dãy các phương trình được nắn nót viết ra trên trang giấy trắng. Phải thú nhận rằng tôi chỉ nhìn thấy ở đó một cái đẹp trừu tượng, cũng hệt như khi đứng trước những trang giấy đầy ắp chữ Hán do một nhà thư pháp Trung Hoa viết lên một cách tài tình. Nhà thơ và cũng là họa sĩ Henri Michaux (1899-1984) đã sử dụng một cách có ý thức vẻ đẹp tạo hình ấy của chữ Hán trong thư

pháp của mình. Cái đẹp ở đây cũng không liên quan với khái niệm "tao nhã" mà các nhà vật lý và toán học thường nói tới. Một chứng minh toán học hoặc một kết quả vật lý là tao nhã bởi vì chúng đã đạt được qua một số tối thiểu các bước. Một lý thuyết có thể rất đẹp mà không cần có những lời giải tao nhã. Thuyết tương đối rộng của Einstein, theo ý kiến của tất cả các chuyên gia, là một tòa lâu đài trí tuệ hài hòa nhất mà trí tuệ con người đã xây dựng nên. Lý thuyết đó không có những lời giải tao nhã, ngoại trừ những trường hợp đơn giản nhất. Mà toán học ở đây lại hết sức phức tạp. Tuy nhiên, đó là lý thuyết đẹp nhất.

Một lý thuyết được gọi là đẹp bởi vì nó dường như không thể nào khác được. Đó cũng là cảm giác mà bạn nhận thấy khi nghe một bản fuga của Bach, trong đó không có nốt nhạc nào có thể thay thế được, bởi vì nếu thay thế dù chỉ một nốt thôi, sự hài hòa của bản nhạc sẽ bị phá vỡ. Hoặc khi nhìn bức họa *La Joconde* của Léonard de Vinci (1452-1519) thì chẳng một nhát cọ nào có thể quệt khác được, nếu không sự cân bằng của bức tranh sẽ mất đi. Đối với một lý thuyết đẹp cũng vậy. Khi đã chấp nhận các nguyên lý vật lý làm nền tảng cho lý thuyết hấp dẫn, Einstein không có sự lựa chọn nào khác. Thuyết tương đối rộng là không thể khác được. Chính ông đã viết: "Sức hấp dẫn chủ yếu của lý thuyết là ở chỗ nó đủ cho chính nó. Chỉ cần một trong số những kết luận của nó không đúng là toàn bộ lý thuyết sẽ bị vứt bỏ. Làm thay đổi nó mà không phá hủy toàn bộ cấu trúc là không thể được".

Đặc tính không thể khác được và tính tất yếu của một lý thuyết đẹp thể hiện ở chỗ, khi nó ra đời, các nhà vật lý thường rất ngạc nhiên không hiểu sao nó hiển nhiên như thế mà lại không xuất hiện sớm hơn.

Đặc tính thứ hai của một lý thuyết đẹp là ở chỗ nó rất đơn giản. Đó không phải là sự đơn giản của các phương trình trong lý thuyết được đo bằng số lượng của các ký hiệu, mà là số lượng các ý tưởng làm cơ sở cho lý thuyết đó. Ví dụ, để xây dựng lý thuyết hấp dẫn của mình, Isaac Newton (1642-1727) chỉ cần ba phương trình tương ứng với ba chiều không gian, trong khi lý thuyết tương đối rộng cần đến 14 phương trình. Tuy nhiên, lý thuyết đẹp nhất là lý thuyết của Einstein, bởi vì nó dựa trên những ý tưởng cơ bản đơn giản hơn. Chúng ta sẽ còn trở lại vấn đề này. Vũ trụ Copernicus lấy Mặt trời làm trung tâm, trong đó các hành tinh cần mẫn đi theo các quỹ đạo hình elip xung quanh Mặt trời, đơn giản hơn vũ trụ lấy Trái đất làm trung tâm của Ptolemy, trong đó Trái đất là trung tâm và các hành tinh di chuyển theo đường tròn mà tâm của các đường tròn ấy lại chuyển động trên các đường tròn khác. Một lý thuyết đơn giản chỉ cần một số lượng tối thiểu các giả thuyết. Nó không bị vướng vào các thứ điểm tô vô bổ. Nó thỏa mãn tiên đề về tính đơn giản của Occam (cuối thế kỷ XIII-1349): “Tất cả những thứ không cần đều vô ích”.

Sự tương hợp với cái toàn thể

Đặc tính cuối cùng của một lý thuyết, và theo tôi cũng là đặc tính quan trọng nhất, là nó phải thích ứng với những đường viền quanh co của Tự nhiên và làm cho cái đẹp trùng khớp với chân lý. Thực tế, một lý thuyết vật lý không có chỗ đứng, nếu nó không hé mở cho chúng ta thấy những mối liên hệ mới trong Tự nhiên, mà ta có thể kiểm chứng được bằng những quan sát hoặc thực nghiệm trong phòng thí nghiệm, nếu nó không phơi bày trước mắt chúng ta “sự đơn giản đáng kinh ngạc và toàn bộ các mối quan hệ chằng

chịt của Tự nhiên", như Warner Heisenberg đã từng nói. Một lý thuyết mà người ta không thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm thì không còn thuộc lĩnh vực khoa học nữa mà thuộc lĩnh vực siêu hình. Những tư biện trí tuệ đều là vô bổ, chừng nào chúng không dựa vào các Hình thái của Tự nhiên. Heisenberg đã định nghĩa cái đẹp như nó đã được cảm nhận trong nền văn minh cổ đại như sau: "Cái đẹp là sự tương hợp của các bộ phận, giữa bộ phận này với bộ phận kia và với toàn thể". Thuyết tương đối rất đẹp bởi vì nó đã kết nối và thống nhất được các khái niệm cơ bản của vật lý mà cho đến lúc đó vẫn hoàn toàn tách rời nhau: thời gian, không gian, vật chất và chuyển động. Vật chất làm cong không gian, và sự cong của không gian quy định chuyển động. Mặt trăng đi theo một quỹ đạo cong (hình elip) xung quanh Trái đất bởi vì khối lượng của Trái đất làm cong không gian bao quanh nó. Đến lượt mình, chuyển động lại kiểm soát sự hoạt động của cặp thời gian - không gian. Một hạt cơ bản chuyển động với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng sẽ thấy thời gian dài ra và không gian co lại. Sự chậm lại của thời gian - cái phép màu cải lão hoàn đồng tưởng như vô vọng - bây giờ không còn là một điều hoang tưởng nữa: các hạt được phóng hết tốc lực trong các máy gia tốc hạt, như máy gia tốc ở CERN (Trung tâm nghiên cứu hạt nhân châu Âu) đặt tại Geneve, sống lâu hơn các hạt đứng yên. Còn về sự cong của không gian do vật chất tạo ra, những quan sát cho thấy ánh sáng của các vì sao đều bị lệch hướng khi đi qua gần Mặt trời, đúng như Mặt trời đã làm cong không gian bao quanh nó.

Một lý thuyết sẽ càng đẹp nếu nó phát hiện ra những mối liên hệ bất ngờ ở mỗi một bước ngoặt mới, trong quá trình các nhà nghiên cứu khám phá ngày một sâu hơn cấu trúc của nó. Thuyết tương đối rộng thỏa mãn đến độ cao nhất các chuẩn mực ấy. Lý

thuyết này không ngừng làm cho chúng ta phải ngạc nhiên bởi sự phong phú không lường trước được của nó. Einstein là người đầu tiên bị bất ngờ khi ông phát hiện ra rằng các phương trình của ông đã áp đặt một vũ trụ đang vận động. Giống như một hòn đá khi ném lên, nó không thể đứng lại trong không khí, vũ trụ không thể ở trạng thái tĩnh: nó phải hoặc là giãn nở hoặc là tự co nhỏ lại. Thế nhưng những quan sát thiên văn vào thời của ông (1915) lại chỉ ra rằng vũ trụ là tĩnh. Và Einstein đã điều chỉnh các phương trình của mình để phù hợp với trạng thái tĩnh này - một hành động mà Einstein xem là "sai lầm lớn nhất trong cuộc đời ông", khi biết nhà thiên văn học Mỹ Edwin Hubble (1889-1953) phát hiện ra sự giãn nở của vũ trụ vào năm 1929. Einstein đã không có đủ niềm tin vào vẻ đẹp và sức sống của chính các phương trình của mình. Từ đó thuyết tương đối rộng đã không ngừng phát hiện ra những kho báu đến lạ lùng. Nó đã trở thành trụ cột của lý thuyết Big-Bang. Nó đã cho phép các nhà vũ trụ học đi ngược dòng thời gian và mô tả các bước tiến hóa của vũ trụ, bắt đầu từ một vụ nổ lớn - vụ nổ đã sinh ra cả không-thời gian. Nó cũng đã thúc đẩy chúng ta nghĩ đến các vùng trong không gian có lực hấp dẫn rất mạnh và không gian cong lại tới mức ánh sáng cũng không thể thoát ra được: đó là những lỗ đen. Chưa hết. Lý thuyết này còn nói rằng có những vùng mà ở đó các thiên hà có khối lượng cực lớn làm cong không gian và làm lệch hướng đi của ánh sáng phát ra từ các thiên thể ở xa, tạo ra các ảo ảnh vũ trụ. Các nhà thiên văn gọi những thiên hà này là các "thấu kính hấp dẫn", bởi vì giống như thủy tinh thể của mắt, chúng làm lệch hướng và hội tụ ánh sáng.

Không thể khác, đơn giản và tương hợp với toàn thể - đó là những nét đặc trưng của một lý thuyết đẹp. Chính sự thích thú vẻ đẹp của sự tương hợp với cái toàn thể đã kích thích những cố gắng

của các nhà vật lý trong suốt hai thế kỷ qua nhằm tìm ra một lý thuyết của Vạn vật (hay Tất cả), một lý thuyết có khả năng liên kết tất cả các hiện tượng vật lý của vũ trụ và thống nhất bốn lực cơ bản của Tự nhiên thành một lực duy nhất.

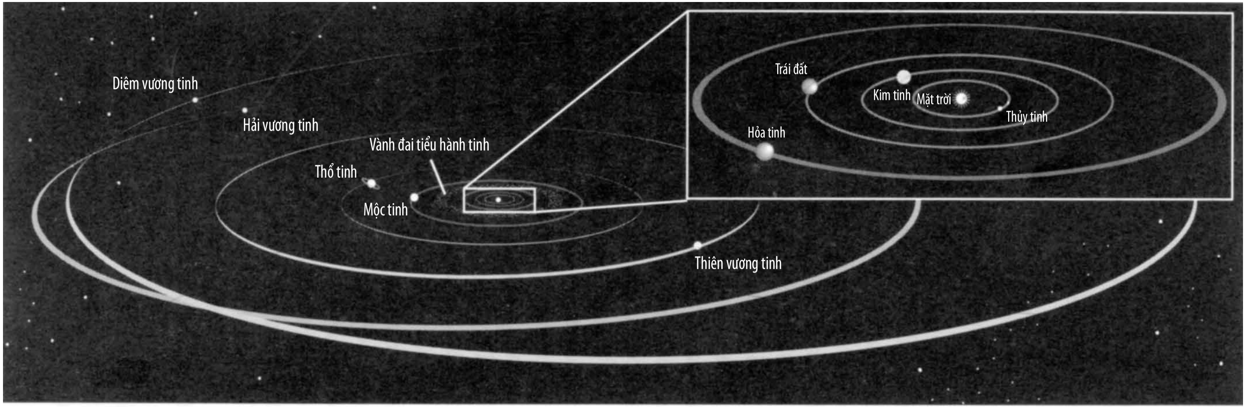
Nhưng trước khi đi tìm cái Chén thánh đó của vật lý, tức lý thuyết của Vạn vật, theo sự hướng dẫn của nguyên tắc cái đẹp, chúng ta cần phải làm quen với cái *ngẫu nhiên*. Bởi vì cái đẹp chỉ có thể trùng khớp với chân lý nếu chúng ta, với thái độ rất cẩn trọng, phân biệt được cái cơ bản với cái *ngẫu nhiên*. Cái đẹp sẽ không còn là người dẫn đường tốt để xây dựng lên một lý thuyết, nếu chúng ta không tính đến sự xâm nhập của các sự kiện có tính lịch sử. Thực tế, Tự nhiên bị chi phối bởi các định luật cơ bản, nhưng đồng thời nó cũng bị chi phối bởi các biến cố của Lịch sử, của những chuyện xảy ra ngẫu nhiên chẳng có ý nghĩa gì sâu sắc cả. Lịch sử của sự hình thành Hệ Mặt trời đã minh chứng cho sự can thiệp của Lịch sử vào các hiện tượng của Tự nhiên. Chính vì vậy mà chúng ta sẽ đi ngược dòng thời gian trở về 4,6 tỷ năm trước và trực tiếp chứng kiến sự ra đời của Hệ Mặt trời. Các sự kiện đó có tầm quan trọng to lớn chẳng những vì chúng dẫn đến sự ra đời của chính chúng ta, mà còn vì chúng ta có thể học được cách phân định cái cơ bản và cái ngẫu nhiên.

CHƯƠNG HAI

NGẪU NHIÊN VÀ TẤT YẾU: LỊCH SỬ HỆ MẶT TRỜI

Mặt trời sinh ra từ cái chết của một vì sao

Hệ Mặt trời (H.1) hình thành cách đây 4,6 tỷ năm trong lòng dải Ngân Hà - một trong số hàng trăm tỷ thiên hà của vũ trụ quan sát được. Ở gần mép của Ngân Hà, tại chỗ hai phần ba bán kính tính từ tâm ra, cách xa trung tâm thiên hà khoảng 300.000 năm ánh sáng, có một ngôi sao nặng đang lụi tàn. Nó không còn chất đốt để sản sinh ra năng lượng và tỏa sáng nữa. Lực hấp dẫn chiếm ưu thế và lõi của ngôi sao đang hấp hối co lại mãnh liệt. Cùng lúc đó một vụ nổ dữ dội xảy ra, phóng các lớp ngoài của ngôi sao vào không gian với tốc độ hàng nghìn km/s. Cái chết của ngôi sao nặng này vậy là đã được chúc mừng bởi sự ra đời của một ngôi sao siêu mới với độ sáng gấp hàng tỷ độ sáng của Mặt trời. Gần ngôi sao siêu mới này có một đám mây khí được tạo thành chủ yếu bởi hai nguyên tố hóa học sinh ra trong Big Bang, khoảng ba phút đầu tiên của vũ trụ: ba phần tư khối lượng của nó (cỡ 2 tỷ tỷ tỷ tấn) là khí hyđrô, 23% là hêli. Chỉ có 2% khối lượng còn lại là

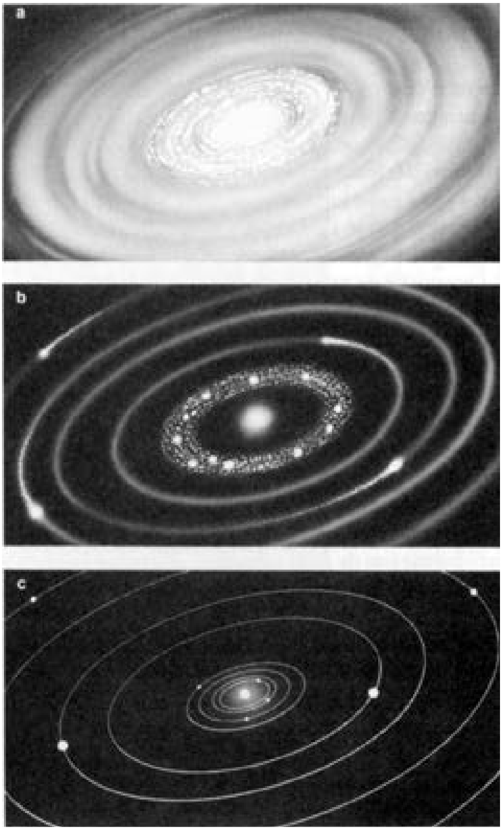


Hình 1. *Hệ Mặt trời*. Các hành tinh thuộc Hệ Mặt trời đều thể hiện những tính quy luật mà mọi lý thuyết về sự hình thành Hệ Mặt trời đều phải tính đến. Trừ Diêm vương tinh ra, tất cả các hành tinh khác đều quay xung quanh Mặt trời theo cùng một hướng như hướng quay của Mặt trời (tức là quay từ Tây sang Đông) và tất cả đều nằm trong cùng một mặt phẳng (gọi là mặt phẳng hoàng đạo). Trừ Kim tinh và Thiên Vương tinh, tất cả các hành tinh đều quay quanh trục của chúng theo hướng từ Tây sang Đông và trừ một vài ngoại lệ, tất cả các mặt trăng đều quay quanh hành tinh của mình theo cùng chiều đó. Chuyển động quay theo chiều chung từ Tây sang Đông này là do chiều quay ban đầu của tinh vân mặt trời - tinh vân đã cho ra đời Mặt trời và các hành tinh.

Các hành tinh được chia làm hai loại. Ở gần Mặt trời là bốn hành tinh "kiểu Trái đất" (Thủy tinh, Kim tinh, Trái đất và Hỏa tinh): đó là các hành tinh không nặng lắm, có vỏ đất đá tạo bởi các nguyên tố nặng, có ít hoặc không có khí quyển. Ở xa Mặt trời hơn nhiều là các hành tinh khổng lồ (Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên Vương tinh, Hải Vương tinh và Diêm Vương tinh): đây là các hành tinh nặng, không có bề mặt rắn, bầu khí quyển dày chủ yếu tạo bởi các nguyên tố nhẹ như hyđrô và hêli.

những nguyên tố nặng hơn hêli (nhiều nhất là cácbon, nitơ và ôxy) - những nguyên tố được sinh ra từ lò luyện hạt nhân trong lòng các ngôi sao thuộc các thế hệ trước. Và sau đó, trong cơn hấp hối bùng nổ của các ngôi sao ấy, những nguyên tố này được gieo rắc trong không gian giữa các vì sao. Bị tác động mạnh bởi sóng xung kích do ngôi sao siêu mới bên cạnh tạo ra, đám mây bắt đầu co lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn của nó. Lõi của đám mây ngày càng trở nên dày đặc hơn. Từ một vùng lúc đầu gần như hoàn toàn là chân không (10.000 tỷ tỷ lần loãng hơn nước) độ đậm đặc tăng dần và đạt tới 2, rồi 10, rồi 100 lần độ đậm đặc của nước. Các nguyên tử phóng tới, va đập vào nhau trong một không gian ngày càng thu hẹp, làm cho khí nóng lên. Cái lạnh giá ban đầu (-263°C) được thay thế bằng cái nóng ngày càng thiêu đốt. Rồi một trăm triệu năm trôi qua kể từ khi đám mây khí co lại. Khối lượng riêng ở lõi của nó đã lớn gấp 160 lần khối lượng riêng của nước. Cái mốc nhiệt độ 10 triệu độ đã bị vượt qua. Ở lõi đám mây, các nguyên tử hyđrô và hêli va đập vào nhau rất dữ dội, giải phóng các electron, các hạt nhân hyđrô (proton) và các hạt nhân hêli. Nhiệt và mật độ cực cao đã khởi phát những phản ứng tổng hợp hạt nhân. Các proton, cứ 4 hạt một, tổng hợp thành một hạt nhân hêli. Sự tổng hợp như vậy sẽ giải phóng năng lượng dưới dạng bức xạ. Quả cầu khí sáng rực lên: ngôi sao Mặt trời ra đời. Vậy là cái chết của ngôi sao nặng đã sản sinh ra Mặt trời, ngôi sao mang lại sự sống của chúng ta.

Năng lượng cung cấp lửa cho Mặt trời từ đâu mà có? Chúng ta hãy thử so sánh khối lượng của 4 proton tự do với hạt nhân hêli, như đã nói ở trên, là kết quả hợp nhất của 4 proton. Điều đáng ngạc nhiên là khối lượng của hạt nhân hêli không đúng bằng mà nhỏ hơn (khoảng 0,7%) so với khối lượng của 4 proton. Khối lượng thiếu hụt đó đã chuyển hóa thành năng lượng. Để tính lượng năng



Hình 2. *Sự tạo thành Hệ Mặt trời*. a) Pha ban đầu của sự tạo thành tinh vân mặt trời. Các "mầm" hành tinh (*planetesimal*) và khí quay xung quanh khối lượng khí ở trung tâm. Dưới tác dụng của lực hấp dẫn của chính mình, khối lượng khí này co lại để tạo thành Mặt trời. b) Hệ Mặt trời còn non trẻ sau hơn 50 triệu năm. Sự kết tập của các "mầm" hành tinh ở những vùng trong của Hệ Mặt trời đã tạo nên các hành tinh kiểu Trái đất: Thủy tinh, Kim tinh, Trái Đất và Hỏa tinh. Khí bao gồm 98% là hyđrô và hêli được nung nóng bởi năng lượng cực lớn của Mặt trời thoát ra những vùng bên ngoài tạo nên những hành tinh khổng lồ. Chính vì thế mà Thổ tinh, Mộc tinh, Thiên Vương tinh và Hải Vương tinh đều là những quả cầu khí khổng lồ chứa chủ yếu là hyđrô và hêli (Diêm Vương tinh đóng một vai trò riêng: người ta nghĩ rằng nó là một tiểu hành tinh rất lớn quay ở biên của Hệ Mặt trời). Ở những vùng trong, vẫn còn nhiều cục đá (người ta gọi chúng là các "tiểu hành tinh"), thường xuyên va đập rất mạnh vào các hành tinh kiểu Trái đất vừa mới hình thành tạo ra trên bề mặt của chúng những hố hình miệng núi lửa toang hoác. Bề mặt phủ đầy những hố hình miệng núi lửa hiện nay của Thủy tinh chính là di sản của thời kỳ bắn phá dữ dội đó. c) Sự tạo thành các hành tinh kết thúc sau khoảng 100 triệu năm. Tại vùng trong ở gần Mặt trời, tất cả các mầm hành tinh đều được kết tập thành các hành tinh và sự bắn phá của chúng vào bề mặt của các hành tinh chấm dứt.

lượng được giải phóng bởi Mặt trời do mỗi phản ứng nhiệt hạch gây ra, theo công thức của Einstein, ta chỉ cần đem độ hụt khối đó nhân với bình phương của tốc độ ánh sáng, bởi vì khối lượng và năng lượng tương đương với nhau. Năng lượng được tạo ra bởi sự hợp nhất 4 proton thành một hạt nhân hêli là vô cùng nhỏ. Sở dĩ Mặt trời chiếu sáng và nuôi dưỡng được hành tinh xanh của chúng ta là bởi vì có tới hàng trăm tỷ, tỷ, tỷ, tỷ (10^{38}) phản ứng nhiệt hạch diễn ra mỗi giây trong nhân của nó. Cứ mỗi giây, lại có khoảng 400 triệu tấn hyđrô được chuyển hóa thành hêli. Sự co lại mãnh liệt của quả cầu khí rồi cuối cùng cũng phải dừng lại do sự giải phóng năng lượng của nó. Một sự cân bằng được thiết lập giữa lực đẩy của bức xạ có xu hướng làm nổ tung vì sao và sức ép của lực hấp dẫn có chiều hướng làm cho nó co lại. Mặt khác, đám mây khí (còn được gọi là tinh vân mặt trời) luôn chuyển động. Cũng giống như tất cả các tinh vân, các ngôi sao và các thiên hà, tinh vân mặt trời cũng tự quay quanh nó. Khi nó co lại, chuyển động quay này càng được tăng cường, giống như những nghệ sĩ trượt băng nghệ thuật sẽ quay nhanh hơn khi họ áp sát hai cánh tay dọc theo thân thể. Lực ly tâm do sự quay tròn tạo ra sẽ biến tinh vân mặt trời thành một hình đĩa dẹt, ở giữa đĩa ấy là khối khí mặt trời có dạng hình cầu do lực hấp dẫn nhào nặn lên (H. 2).

Bụi của các sao kềnh đỏ

Đến đây chúng ta đã theo dõi sự trình diễn của đám mây khí trong quá trình tạo ra Mặt trời. Song ở tiền cảnh của sân khấu còn có những diễn viên quan trọng khác nữa. Gieo rắc trong đám mây khí còn có vô vàn hạt bụi. Đây là những hạt cực nhỏ, có kích thước khoảng một phần 10 ngàn milimét, nhưng trong thế giới nguyên tử đã có thể xem là những vật thể khổng lồ. Là kết quả của

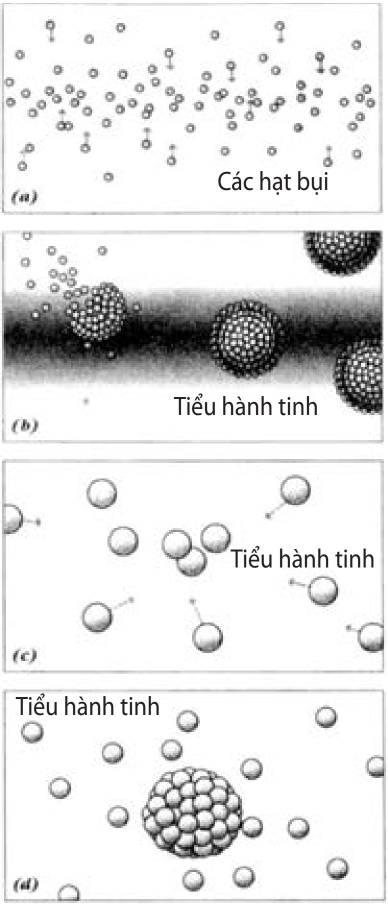
sự kết hợp hàng tỷ nguyên tử silic, ôxy, magiê và sắt vốn đã được sinh ra từ các lò luyện kim trong các vì sao và bởi các sao siêu mới, đồng thời được duy trì thành những mạng cứng bởi lực điện từ, các hạt bụi này có một lõi rắn chắc được bao bọc trong một lớp băng mỏng. Thực ra, các hạt này đã được sinh ra từ trước và tại những nơi khác. Nói một cách chính xác hơn là trong các lớp bao của những ngôi sao có tên là "kềnh đỏ". Các ngôi sao này có kích thước rất lớn, gấp khoảng trăm lần kích thước của Mặt trời, tức là có bán kính khoảng 70 triệu km. Bầu khí quyển của chúng ít nóng hơn (khoảng 3.000°C so với 6.000°C của bề mặt Mặt trời), nên nó cho phép các nguyên tố hóa học, vừa mới được tạo ra từ trong lòng ngôi sao và được đẩy ra bên ngoài bởi các cơn gió sao với tốc độ hàng trăm km/s, có thể kết hợp với nhau tạo thành các hạt bụi. Bị sóng xung kích do sao siêu mới tạo ra quét và gom lại, các hạt bụi này kết tập để sản sinh ra các hạt rắn. Đến lượt mình, các hạt rắn này phát tán trong môi trường băng giá của đám mây khí. Chúng luôn luôn hiện diện trong quá trình tinh vân mặt trời dẹt lại thành hình đĩa với bán kính dài khoảng 5 giờ ánh sáng.

Trò chơi kết tụ

Các nhà thờ nguy nga được xây dựng bằng sự lắp ghép những khối đá đẽo. Còn các hành tinh được hình thành từ sự kết tập những hạt bụi, mà chất gắn kết là lực điện từ và lực hấp dẫn. Các hạt bụi nằm rải rác trong đĩa khí kết dính với nhau nhờ lực hấp dẫn để tạo thành những hạt ngày càng to hơn (H. 3). Những hạt mới tạo thành có lực hấp dẫn lớn hơn, thu hút các hạt ở gần. Các hạt này dính chặt vào các hạt gốc làm cho kích thước và khối lượng của hạt gốc tăng lên. Trong khoảng vài chục năm kết tụ như thế,

các hạt nhỏ trở thành các viên sỏi lớn. Quá trình các hạt kết dính vào nhau cứ diễn ra như thế, và rồi đến lượt các viên sỏi kết dính với nhau, kích cỡ của chúng to dần, tới bằng chiếc kẹo, bằng quả trứng rồi bằng củ khoai tây trong vòng một trăm năm. Thế giới tự nhiên kiên trì theo đuổi cuộc hành trình của nó tiến tới sự phức tạp bằng cách tiếp tục chơi trò kết dính. Kích cỡ của các viên sỏi lớn (được gọi là "mầm" hành tinh hay tiểu hành tinh) cứ tăng lên mãi; chúng lớn dần, lớn hơn quả bóng đá, rồi bằng một sân vận động, một khu phố, một thành phố và rồi bằng cả nước Pháp, bằng Mặt trăng... Sự chuyển đổi về kích cỡ đi liền với sự chuyển đổi về hình dạng. Các tiểu hành tinh đều nhẹ, lực hấp dẫn của chúng yếu, chưa thể thắng nổi lực điện từ là lực làm cho các vật thể bền chắc hơn. Lực đó lại ưng sự lồi lõm gồ ghề. Chính vì vậy mà các tiểu hành tinh có kích cỡ từ viên sỏi to đến cả nước Pháp đều có bề mặt gồ ghề không đều, giống như những củ khoai. Hai vệ tinh của Hỏa tinh là Phobos và Deimos cũng có hình củ khoai như thế. Khi các tiểu hành tinh to lên bằng kích thước của Mặt trăng thì lực hấp dẫn của chúng sẽ lấn át lực điện từ. Trái với lực điện từ, lực hấp dẫn lại rất ghét sự gồ ghề, nó chỉ thích dạng hoàn hảo của hình cầu. Chính vì vậy mà các hành tinh và vệ tinh của chúng đều có dạng hình cầu cả.[1]

1. Xét trong cuộc sống thường nhật của chúng ta, lực điện từ luôn chiếm ưu thế. Điều đó thật may mắn cho chúng ta, bởi vì một thế giới mà lực hấp dẫn chiếm ưu thế sẽ thật là tẻ nhạt và đơn điệu: khi đó hình cầu sẽ là hình dạng duy nhất được phép tồn tại và những đường nét tinh tế của một cánh hồng, những hình khối hoàn hảo trên một bức tượng của Rodin, những đường viền đăng ten bằng thép của tháp Eiffel sẽ không hề xuất hiện giữa chúng ta.



Hình 3. *Sự tạo thành các hành tinh.* a) Những hạt bụi gặp nhau và kết tập thành những viên đá rắn nhỏ nằm rải rác trong đĩa khí dẹt. b) Lực hấp dẫn tập hợp những viên đá nhỏ đó thành những thiên thạch lớn hơn mà người ta gọi là các tiểu hành tinh. c) Đến lượt các tiểu hành tinh kết hợp lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn. d) Các hành tinh ra đời.

Khi các tiểu hành tinh lớn dần lên thì quá trình tăng trưởng của chúng cuối cùng sẽ chậm lại. So với thời gian để tạo ra vật thể có kích thước bằng một quả bóng, thì Tự nhiên cần rất nhiều thời gian hơn để tạo ra các tiểu hành tinh có kích cỡ bằng một sân vận động, và nó còn cần nhiều thời gian hơn nữa để tạo ra những thiên thể bằng cả một khu phố hay một thành phố. Vì sao? Lý do thật đơn giản: các tiểu hành tinh càng to ra thì số lượng của chúng càng ít đi. Khi quần thể các viên đá sỏi có số lượng tới hàng tỷ, thì số các thiên thể lớn bằng Mặt trăng chỉ đếm được trên đầu ngón tay. Càng ít các vật thể thì càng ít xảy ra sự va chạm và kết dính, do đó mà sự tăng trưởng chậm lại.

Những cuộc chạm trán đầy bất trắc

Quá trình tăng trưởng về kích thước của các viên sỏi không phải không có những va vấp hoặc tan vỡ. Nó không phải

lúc nào cũng tiến triển từ nhỏ đến to. Đôi khi quá trình kết dính được dẫn dắt bởi lực hấp dẫn không đưa đến một sự kết hợp mà lại gây ra sự tan vỡ. Được phóng tới gặp nhau, thay vì gắn kết với nhau, các tiểu hành tinh lại vỡ vụn thành ngàn mảnh trong cuộc va chạm tàn phá đó. Quá trình kết dính được tích tụ cho tới phút đó bỗng chốc tan vỡ trong một cú va chạm cực kỳ mãnh liệt.

Hai thiên thể lớn bằng hai sân vận động gặp nhau. Thay vì chúng hợp lại để có kích cỡ tăng gấp đôi, chúng lại bị vỡ tan thành cả triệu mảnh vụn. Cú va đập giải phóng một năng lượng bằng cả chục triệu tấn thuốc nổ TNT và bằng sức mạnh của hàng trăm quả bom nguyên tử ném xuống Hiroshima. Mọi nỗ lực làm cho một hạt bụi trở thành một hành tinh bị phá hủy trong chớp mắt. Tất cả phải làm lại từ đầu. Nguy cơ của sự phá hủy càng lớn khi các tiểu hành tinh có khối lượng càng lớn: sự đụng độ của hai xe tải hạng nặng trên xa lộ gây ra sự tan vỡ nghiêm trọng hơn nhiều so với sự đụng độ của hai chiếc xe đạp.

Như vậy là cuối cùng, sự gặp nhau giữa các tiểu hành tinh, khi chúng chỉ còn rất ít, vẫn có thể dẫn đến những rủi ro rất lớn. Sự tăng trưởng cũng dần dần chậm lại. Chỉ cần một trăm năm cho một hạt bụi trở thành một quả bóng, nhưng phải mất tới cả trăm triệu năm mới hình thành được một hành tinh mới. Nhưng thiên nhiên có đầy đủ thời gian mà nó cần. Trong vòng 100 triệu năm, 8 hành tinh đã xuất hiện và quay quanh Mặt trời (xem H.2).

Mặt trời quét sạch

Gần Mặt trời có bốn hành tinh nhỏ được hình thành gọi là "các hành tinh vòng trong" vì chúng ở gần Mặt trời. Chúng còn được gọi là các hành tinh "kiểu Trái đất" (hay các hành tinh rắn) bởi

thành phần hóa học của chúng, đó là: Thủy tinh, Kim tinh, Trái đất và Hỏa tinh. Hành tinh lớn nhất là Trái đất có đường kính khoảng 12.700 km. Kim tinh là hành tinh lớn bằng Trái đất, còn Hỏa tinh chỉ bằng một nửa, và Thủy tinh chỉ bằng một phần ba. Là những khối cầu tạo bằng đất đá, chúng có ít hoặc hầu như không có khí quyển. Trên Trái đất, không khí chứa 77% nitơ và 22% ôxy. Bầu khí quyển của Kim tinh đậm đặc gấp trăm lần khí quyển Trái đất. Nếu đổ bộ xuống hành tinh này bạn sẽ thấy một sức nặng đè lên hai vai giống như cảm giác bạn thấy khi lặn xuống độ sâu 1.000 m dưới mặt nước biển. Không khí mà bạn thở ở đây không tốt cho sức khỏe. Thành phần của nó gồm 96% là khí cacbonic và 4% là nitơ. Khí cacbonic giam hãm nhiệt của Mặt trời và tạo ra một "hiệu ứng nhà kính" rất nặng nề làm cho bề mặt của Kim tinh có nhiệt độ gấp năm lần nhiệt độ của nước sôi (500°C). Đây là số phận tương lai của Trái đất nếu chúng ta không cảnh giác mà cứ tiếp tục thải vào khí quyển ngày càng nhiều khí cacbonic thoát ra từ các ống xả xe hơi, từ các ống khói nhà máy và cứ tiếp tục chặt phá cây cối, trong khi thảm thực vật, thông qua sự quang hợp, hấp thụ khí cacbonic và làm giàu ôxy cho không khí.

Ngược lại, khí quyển trên Hỏa tinh loãng hơn khí quyển Trái đất 100 lần. Nó rất nhẹ, nhẹ đến mức các vệ tinh được phóng lên từ Trái đất có thể chụp ảnh rất dễ dàng bề mặt của hành tinh hoang mạc, có mầu gỉ sắt này. Tàu thăm dò Mariner đã nhìn thấy các lòng sông bị khô hạn, có nghĩa rằng trong quá khứ nước đã từng chảy trên Hỏa tinh. Và khi đã có nước thì sự sống cũng có thể xuất hiện. Ngày nay chúng ta đều biết rằng giống người trên Hỏa tinh chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng của tác giả các sách khoa học viễn tưởng, và hệ thống các kênh rạch tưởng như đã được đào trên bề mặt Hỏa tinh cũng chỉ là một ảo ảnh quang học do các trận bão cát tạo ra.

Điều đó không có nghĩa là chúng ta loại trừ dứt khoát sự tồn tại của các vi sinh vật đơn bào trên Hỏa tinh. Vào tháng 8 năm 1996, một số nhà khoa học thông báo ầm ĩ rằng họ đã tìm thấy những vi sinh vật trong một thiên thạch từ Hỏa tinh rơi xuống Trái đất. Kết quả nghiên cứu này còn đòi hỏi phải được xác nhận. Dù sao trên Hỏa tinh con người sẽ rất khó thở, bởi vì trước hết bầu khí quyển ở đây không nhiều; sau nữa vì thành phần khí quyển ở đó giống hệt khí quyển ở Kim tinh. Còn Thủy tinh thì đã mất hết, không còn chút khí quyển nào.

Có một vấn đề ngay lập tức được đặt ra: Tại sao thành phần của bầu khí quyển và đất đai (chủ yếu là silicat) trên các hành tinh nhỏ lại khác với thành phần của tinh vân mặt trời. Như chúng ta đã thấy, tinh vân này có thành phần như thành phần các vì sao và các thiên hà. Ba phần tư khối lượng của nó là hyđrô, phần còn lại là hêli cộng với một lượng nhỏ những nguyên tố nặng. Các nguyên tố như cacbon, ôxy hoặc nitơ chỉ chiếm tỷ lệ 2% của khối lượng đó mà thôi. Những cuộc điều tra cho thấy rằng Mặt trời, ngôi sao trẻ mới ra đời, chính là kẻ đã gây ra điều đó. Nhiệt lượng rất cao của Mặt trời đã đẩy hyđrô và hêli ra phía ngoài của hệ Mặt trời. Mặt trời hoạt động giống như một cái quạt gió khổng lồ thổi bạt không khí, và tại các vùng gần nó, các nguyên tố dễ bay hơi và nhẹ như hyđrô, hêli đều bị quét sạch. Có hai lý do dẫn đến sự quét sạch này. Trước hết, các hành tinh kiểu Trái đất ở gần Mặt trời phải lãnh đủ sức nóng thiêu đốt của nó. Điều này được thể hiện ở sự chuyển động mãnh liệt của các nguyên tử trong khí quyển của chúng. Mặt khác, khối lượng của một hành tinh kiểu Trái đất tương đối nhỏ và lực hấp dẫn của nó không đủ mạnh để kiềm chế sự chuyển động mãnh liệt của các nguyên tử. Và thế là chúng tự mất hút trong không gian. Chỉ còn lại các chất nặng hơn hyđrô và hêli. Các chất

này không bị bốc hơi dưới độ nóng của lửa mặt trời (do đó được gọi là các chất chịu lửa) như silicat, chất tạo thành đất của Kim tinh, Trái đất, và Hỏa tinh. Trên Thủy tinh, hành tinh gần Mặt trời nhất, ngay cả silicat cũng không chịu nổi độ nóng quá cao của Mặt trời. Chúng cũng phải bốc hơi và bay đi. Thủy tinh phần lớn được tạo thành bởi các chất sắt có thể chịu được sức nóng của Mặt trời tốt hơn, nhưng toàn bộ khí quyển nguyên thủy của nó cũng bị lửa Mặt trời quét sạch.

Kim tinh, Trái đất và Hỏa tinh cũng không phải là những hành tinh may mắn hơn. Cả ba cũng đều đã từng bị mất bầu khí quyển nguyên thủy. Bầu khí quyển hiện nay của chúng phải mãi sau này mới có. Nó được tạo bởi khí (trong đó có hơi nước) bị giam hãm trong các tiểu hành tinh và sau đó được giải thoát ra. Trên Trái đất hơi nước được ngưng tụ lại và trời đổ mưa như trút. Hai phần ba diện tích Trái đất là các đại dương làm cho hành tinh của chúng ta có màu xanh rất đặc biệt. Sự sống xuất hiện từ các đại dương đó và dẫn tới sự xuất hiện con người.

Nếu những hành tinh kiểu Trái đất ở vòng trong đã mất 98% vật chất nguyên thủy của chúng thì trên các hành tinh khổng lồ như Mộc tinh, Thổ tinh (xem ảnh số 1 trong tập ảnh màu), Thiên Vương tinh và Hải Vương tinh là những hành tinh khổng lồ ở vòng ngoài của Hệ Mặt trời, tình hình ngược hẳn lại. Chúng thu gom những khí nhẹ và dễ bay hơi do Mặt trời thổi dạt ra từ những vùng bên trong. Về mặt này, Mộc tinh là hành tinh được lợi nhiều nhất. Nó đã thu hồi được rất nhiều khí đến mức khối lượng của nó trội hơn hẳn so với tất cả các hành tinh khác. Nặng hơn Trái đất gấp 318 lần, đường kính của hành tinh này lớn gấp 11 lần đường kính Trái đất. Nếu cộng khối lượng của tất cả các hành tinh khác

cùng với các vệ tinh của chúng và của tất cả các tiểu hành tinh, các sao chổi đang hiện diện trong Hệ Mặt trời lại, thì chúng ta mới chỉ được một khối lượng bằng 40% khối lượng Mộc tinh. Xung quanh lõi đất đá của Mộc tinh có bán kính 10.000 km, đã hình thành một bầu khí quyển gồm khí hyđrô và hêli có bề dày tới 60.000km.

Người ta cho rằng bầu khí quyển của Mộc tinh chỉ là khí trong khoảng 20.000 km đầu tiên mà thôi. Ở lớp dưới khí quyển, khí hyđrô đã hóa lỏng dưới áp suất rất lớn của các lớp khí ở tầng trên. Các lớp khí này đã được tàu thăm dò Galileo của NASA nghiên cứu rất chi tiết vào tháng 12-1995. Con tàu đã thả các khí cụ khoa học xuống bầu khí quyển của hành tinh khổng lồ này để đo nhiệt độ, áp suất và thành phần hóa học của nó. Song các khí cụ khoa học không làm việc được lâu. Áp suất quá lớn của các lớp khí quyển bên trên đã nghiền nát và làm cho chúng phải im tiếng trong vòng vài giờ. Song điều đó cũng đủ để con tàu Galileo gửi về Trái đất những thông tin quý giá về bầu khí quyển của Mộc tinh. Ba hành tinh khổng lồ khác là Thổ tinh, Thiên Vương tinh và Hải Vương tinh cũng đều có một cái lõi bằng đá với một bầu khí quyển gồm hyđrô và hêli bao quanh.

Nhiệt lượng của Mặt trời giảm rất nhiều ở các vùng cách xa trung tâm của Hệ Mặt trời. Trong khi nhiệt độ lúc giữa trưa trên Thủy tinh là 327^{o}C, trên Hỏa tinh là 27^{o}C, thì ở tầng cao của khí quyển Mộc tinh nhiệt độ lại rất thấp như trong kho lạnh (-123^{o}C); trên Hải Vương tinh hoàn toàn là băng giá (-210^{o}C). Các nguyên tử của hyđrô và hêli chuyển động không mấy náo nhiệt tại các vùng không gian băng giá ấy. Lực hấp dẫn của các hành tinh khổng lồ này dễ dàng giữ được cho chúng bầu khí quyển đồ sộ bao quanh.

Cái tất yếu và cái ngẫu nhiên

Chúng ta đã đi ngược dòng thời gian tới 4,6 tỷ năm trước để trực tiếp chứng kiến sự ra đời của Hệ Mặt trời. Chúng ta đã bị choáng ngợp trước sự bùng nổ sáng lòa khi một ngôi sao siêu mới ra đời và hân hoan khi thấy Mặt trời, ngôi sao của sự sống, xuất hiện. Chúng ta cũng đã thích thú theo dõi sự kết dính của các hạt bụi giữa lòng tinh vân mặt trời, đã thấy chúng lớn phổng lên nhanh chóng, từ kích cỡ một viên đá sỏi thành kích cỡ một củ khoai tây, rồi từ kích cỡ một quả bóng đá thành kích cỡ Mặt trăng... Tuy nhiên, ở giai đoạn cuối cùng cảnh tượng trở nên bất an và hết sức tàn khốc. Sự hợp nhất êm thấm ban đầu của các hạt bụi bỗng chốc trở thành những cuộc đụng độ tàn khốc của các khối đá khổng lồ lao vào nhau với vận tốc hàng chục km/s và bị vỡ nát thành những trận mưa đá vụn. Và rồi chúng ta cũng thở phào nhẹ nhõm, vì sau 100 triệu năm, cuối cùng tạo hóa cũng đã cho ra đời tám hành tinh xoay quanh Mặt trời.

Chúng ta đã đi đến tận hiện trường hình thành Hệ Mặt trời để nuôi dưỡng những suy tư của chúng ta về cái tất yếu và cái ngẫu nhiên, cái tiên đoán được và cái không tiên đoán được, cái cụ thể và cái tổng quát... Cảm giác thẩm mỹ của chúng ta, những tiêu chí của chúng ta về cái đẹp sẽ là người dẫn đường tốt trong quá trình tìm kiếm các định luật của tự nhiên chỉ khi chúng ta phân biệt được cái ngẫu nhiên, đơn lẻ với cái phổ quát. Một sự kiện mang tính phổ quát nếu như nó không phụ thuộc vào không gian cũng như thời gian. Ví dụ, chúng ta cho rằng một số sự kiện đi kèm theo sự ra đời của ngôi sao Mặt trời cùng với bầu đoàn các hành tinh của nó là những sự kiện phổ quát, bởi vì chúng xảy ra nhiều lần trong suốt tiến trình 15 tỷ năm kể từ Big Bang, và không chỉ trong thiên hà

của chính chúng ta mà trong cả những thiên hà khác nữa. Sự co lại mãnh liệt của đám mây khí giữa các vì sao, sự khởi phát các phản ứng nhiệt hạch trong lõi của nó làm cho Mặt trời chiếu sáng, sự tạo thành một đĩa khí dẹt, sự kết dính thành các tiểu hành tinh, rồi thành các hành tinh: tất cả những sự kiện đó đều thể hiện tính tất yếu và phổ quát. Chúng ta cũng xem rằng những quá trình vật lý và chuỗi những sự kiện này đang và sẽ còn diễn ra trong những xó xỉnh khác của Vũ trụ bao la của chúng ta, và Hệ Mặt trời chẳng qua cũng chỉ là một trong vô vàn hệ mặt trời khác trong Vũ trụ. Chính từ đó đã thúc đẩy việc tìm kiếm những hành tinh ở ngoài Hệ Mặt trời, quay quanh những ngôi sao khác trong thiên hà chúng ta.

Và các nhà thiên văn nghĩ rằng họ đã nhìn thấy một Hệ Mặt trời khác đang hình thành xung quanh một ngôi sao có tên là Bêta Pictoris ở cách xa Mặt trời chúng ta 450 nghìn tỷ km (ảnh 2 của tập ảnh màu). Ngôi sao này có một đĩa bụi và khí bao quanh. Những khí này phát ra ánh sáng trong vùng hồng ngoại. Đĩa bao quanh sao Bêta còn tương đối trẻ, nó được tạo thành chỉ khoảng vài trăm triệu năm trước, tức là tuổi của nó chỉ bằng một phần mười tuổi của Hệ Mặt trời. Đây là một bằng chứng tuyệt vời về tính chính xác của những ý tưởng của chúng ta về sự hình thành các hệ thống mặt trời trong Vũ trụ. Các hành tinh mới sẽ xuất hiện từ hình đĩa này và sẽ quay quanh sao Bêta-Pictoris, giống như tám hành tinh đang không mệt mỏi quay quanh Mặt trời trong mặt phẳng Hoàng đạo. Rất có thể trên một trong số các hành tinh đó sẽ xuất hiện sự sống và ý thức như đã từng xảy ra trên Trái đất chúng ta.

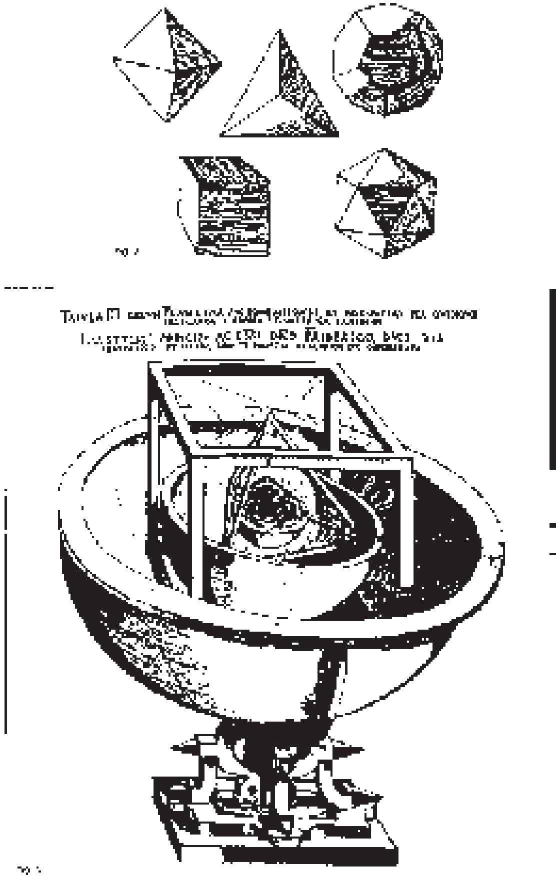
Cho đến nay, các ống kính thiên văn chưa bao giờ trực tiếp phát hiện được một hành tinh nào ở ngoài Hệ Mặt trời. Đó là một công việc cực kỳ khó khăn, bởi lẽ các hành tinh đó bị che khuất bởi ánh

sáng chói lòa của ngôi sao mà chúng quay quanh. Kính thiên văn Hubble trong không gian, trên nguyên tắc có thể "nhìn thấy" các hành tinh xoay quanh các ngôi sao khác, trong một bán kính vài chục năm ánh sáng. Rất có thể đến một ngày nào đó, ống kính này sẽ nhìn thấy. Tuy nhiên, trong khi chờ đợi, chúng ta đã có những bằng chứng gián tiếp cho thấy sự tồn tại của những hành tinh nặng cỡ như Mộc tinh đang quay quanh một vài ngôi sao trong dải Ngân hà. Bởi vì các hành tinh này, bằng lực hấp dẫn của mình, luôn tác động đến ngôi sao mẹ. Sự hiện diện của chúng gây ra những nhiễu động nhẹ, nhưng vẫn cảm nhận được đối với chuyển động của ngôi sao mẹ. Chỉ cần đo thật chính xác sự thay đổi vận tốc của sao mẹ, người ta có thể suy ra sự tồn tại của các hành tinh quay quanh nó.

Các hình khối của Kepler

Chúng ta đã thấy rất nhiều quá trình vật lý bộc lộ tính phổ quát. Nhưng sự ngẫu nhiên cũng có vai trò không thể coi thường trong quá trình tạo ra thực tại. Và nếu như chúng ta không thừa nhận yếu tố ngẫu nhiên này cũng như không tính đến sự xâm nhập của lịch sử, chúng ta chắn chắn sẽ có nguy cơ chọn nhầm đường trên hành trình tìm kiếm các quy luật của tự nhiên. Chàng thanh niên Johannes Kepler (1571-1630) đã học được kinh nghiệm xương máu ấy vào năm 1604, khi anh tìm hiểu sự xếp đặt các hành tinh trong Hệ Mặt trời.

Theo Kepler, Chúa Trời là nhà hình học, và vẻ đẹp của toán học phải được thể hiện trên trời cao và trong sự sắp xếp các hành tinh. Tuy nhiên, Euclid đã chứng minh được rằng trong không gian ba chiều chỉ có thể có 5 hình khối với các mặt hoàn toàn như nhau



Hình 4. *Kepler và 5 hình khối hoàn hảo của Pythagoras*. Kepler cho rằng số các hành tinh và sự sắp xếp của chúng đối với Mặt trời không thể là tùy tiện được mà phải là sự thể hiện ý chí của Chúa Trời. Và bởi vì Chúa Trời là nhà hình học, nên 5 hình khối hoàn hảo của Pythagoras (hình a) phải được lồng trong các hình cầu của 6 hành tinh đã được biết ở thời đó. Kepler đã đưa ra một mô hình hình học như vậy của Hệ Mặt trời trong tác phẩm *Bí mật của Vũ trụ* mà ông cho xuất bản vào năm 1596 (hình b). Ngày hôm nay chúng ta biết rằng mô hình đó không đúng bởi vì thực ra Hệ Mặt trời có tới 9 hành tinh. Kepler đã đi lầm đường vì ông không nhận ra rằng số các hành tinh và khoảng cách từ chúng tới Mặt trời không phải là những cái tất yếu mà chỉ là ngẫu nhiên mà thôi.

(còn được gọi là các khối Pythagoras): khối tứ diện có 4 tam giác, khối lập phương có 6 mặt vuông, khối bát diện có 8 tam giác, khối 12 mặt có 12 ngũ giác và khối 20 mặt có 20 tam giác. Vào thời Kepler, các hành tinh Thiên Vương, Hải Vương và Diêm Vương còn chưa được phát hiện ra. Chỉ có 6 hành tinh được biết đến cùng với 5 khoảng cách giữa chúng. Đối với Kepler: 5 hình khối và 5 khoảng cách giữa các hành tinh không phải là sự trùng hợp ngẫu nhiên. Sự ăn khớp như thế vừa giải thích được số lượng các hành tinh, đồng thời cũng giải thích được sự sắp xếp của chúng đối với Mặt trời. Và thế là Kepler đã xây dựng một Hệ Mặt trời trong đó 5 hình khối Pythagoras được lồng vào 6 hình cầu hành tinh theo cách sau đây: Thủy tinh - khối bát diện - Kim tinh - khối 20 mặt - Trái đất - khối 12 mặt - Hỏa tinh - khối tứ diện - Mộc tinh - khối lập phương - Thổ tinh (H. 4). Ngày nay chúng ta rất ngạc nhiên khi biết rằng một trong số những người báo trước một nền khoa học hiện đại và là người khám phá ra các định luật chi phối sự chuyển động của các hành tinh lại có thể lầm lẫn đến như vậy. Chúng ta biết rằng Hệ Mặt trời có 9 hành tinh và 8 khoảng cách giữa chúng và hoàn toàn không có quan hệ gì với 5 hình khối Pythagoras cả. Kepler đã nhầm lẫn vì ông không biết phân biệt cái ngẫu nhiên với cái tất yếu, cái tình cờ và cái cơ bản. Ông đã áp dụng sự cảm nhận của mình về cái đẹp và cái hài hòa vào các hiện tượng ngẫu nhiên. Số lượng chính xác của các hành tinh và cách sắp xếp của chúng đối với Mặt trời không phải là những dữ liệu cơ bản; mà thực ra chúng chỉ là sự thể hiện của một chuỗi các biến cố lịch sử - đó là quá trình kết dính của các hạt bụi trong lòng tinh vân mặt trời. Trong một Hệ Mặt trời khác, số lượng các hành tinh và khoảng cách giữa chúng cũng sẽ khác. Cái đẹp chỉ có thể là người dẫn đường tốt khi nó mang tính phổ quát.

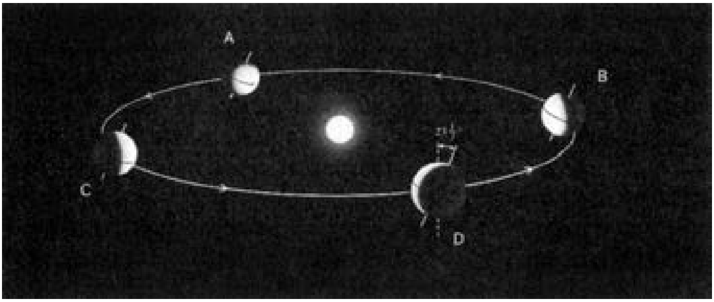
Vũ điệu bốn mùa

Nhưng phải chăng điều đó muốn nói rằng chúng ta không cần phải để ý tới cái ngẫu nhiên trong khi giải thích thế giới? Hoàn toàn không phải như vậy, bởi vì thế giới tự nhiên sử dụng rất tuyệt vời cái ngẫu nhiên cũng như cái tất yếu để tạo ra thực tại. Để giải thích các hiện tượng tự nhiên, chúng ta vừa cần phải khám phá các quy luật chi phối cái tất yếu, vừa phải dựng lại các sự kiện ngẫu nhiên. Vũ điệu bốn mùa minh họa rất hay cho tầm quan trọng của cái ngẫu nhiên trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta. Nó chứng tỏ một cách rõ ràng rằng các sự kiện ngẫu nhiên có thể gây những ảnh hưởng sâu sắc như thế nào đối với thực tại.

Sống ở những vĩ độ của chúng ta, ai mà không cảm thấy bị choáng ngợp khi đứng trước vẻ đẹp lộng lẫy của mùa xuân, với muôn sắc hoa lá cỏ cây, cùng với những tiếng chim hót líu lo. Rồi mùa xuân đi, ngày sẽ dài ra, cái nóng nung nấu của mùa hè sẽ thay thế cho sự ấm áp dễ chịu của mùa xuân. Thế rồi hè qua, thu tới. Những vòm cây xanh ngả sang màu vàng đem lại cho chúng ta cảnh tượng ngày hội của các gam sắc vàng hung. Rồi những luồng gió lạnh giá của mùa đông sẽ đến làm trụi lá các rừng cây, và chim chóc mang theo cả những tiếng hót của chúng tới những vùng trời ấm áp hơn. Sự xuất hiện của những bông hoa mào gà sẽ lại báo hiệu mùa xuân trở về. Vũ điệu của bốn mùa xuân, hạ, thu, đông sẽ lại bắt đầu một vòng mới. Vòng quay của các mùa kéo dài đúng một năm, và cũng trong một năm Trái đất quay trọn một vòng quanh Mặt trời. Nói theo cách nói dân gian dễ hiểu: "Hai mươi tuổi đời cũng là hai mươi mùa xuân đó".

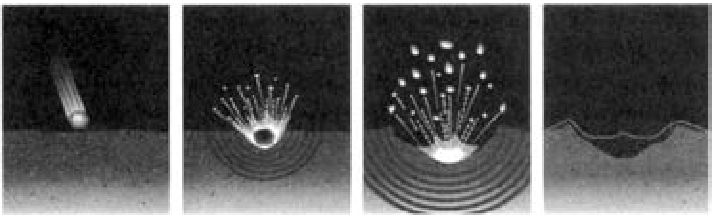
Trái đất không đứng thẳng

Tại sao trên Trái đất lại có bốn mùa? Tại sao vẻ đẹp rực rỡ sắc hoa của mùa xuân lại bị thay thế bằng cái lạnh cắt da của mùa đông? Tại sao cái nóng như thiêu đốt của mùa hè khi sang thu lại trở thành ấm áp? Câu trả lời thật đơn giản: bởi vì Trái đất không đứng thẳng, nó hơi nghiêng về một bên. Cũng như tất cả các hành tinh khác, Trái đất buộc phải tuân theo hai loại chuyển động khác nhau: trong khi chuyển động xung quanh Mặt trời, nó còn chuyển động quay quanh mình nó trong một ngày. Nhờ có chuyển động thứ hai đó mà có ngày, có đêm. Trái đất quay quanh mình nó theo một cái trục tưởng tượng nối liền Bắc cực với Nam cực và kéo dài đến tận sao Bắc Cực. Nó chuyển động quanh Mặt trời trong một mặt phẳng gọi là mặt phẳng Hoàng đạo. Tất cả mọi hành tinh (trừ Diêm Vương tinh) đều quay quanh Mặt trời trong mặt phẳng đó. Mặt phẳng này được tạo ra khi tinh vân mặt trời co lại thành hình đĩa dẹt.



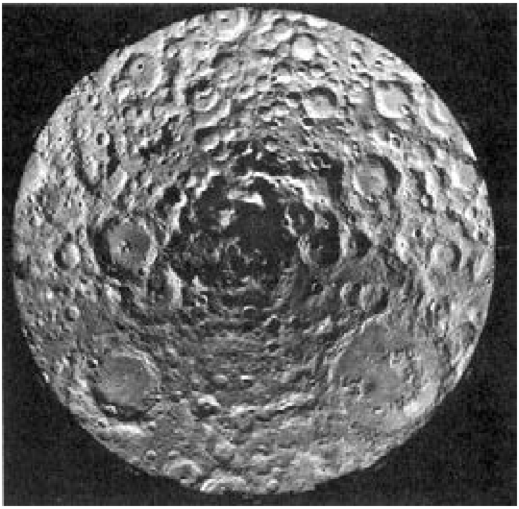
Hình 5. *Vũ điệu bốn mùa*. Sự nghiêng của trục quay Trái đất (23,5 độ so với đường vuông góc của mặt phẳng Hoàng đạo) chính là nguyên nhân gây ra các mùa. Trái đất duy trì sự định hướng đó (Bắc cực luôn trỏ tới sao Bắc Cực) trong suốt hành trình hằng năm của mình quay quanh Mặt trời khiến cho sự chiếu sáng một nơi nào đó trên Trái đất liên tục thay đổi trong một năm. Chẳng hạn, ở vị trí C của Trái đất trên quỹ đạo của nó, ở bán cầu Bắc đang là mùa hè còn bán cầu Nam thì đang là mùa đông. Sáu tháng sau, ở vị trí B, tình hình sẽ đảo ngược lại.

Như vậy là trục quay của Trái đất không thẳng đứng so với mặt phẳng Hoàng đạo. Nó nghiêng 23,5° (xem H. 5). Chính độ nghiêng này đã gây ra sự phong phú của sắc màu mùa xuân cũng như sự di trú của các bầy chim én. Vào tháng sáu, độ nghiêng làm cho bán cầu Bắc ngả nhiều hơn về phía Mặt trời và do đó nhận được nhiều nắng nóng hơn, trong khi bán cầu Nam ở xa Mặt trời hơn và nhận được ít nắng hơn. Khi người Pháp và người Mỹ phơi mình trên các bãi biển để tắm nắng, thì người Braxin cuộn tròn trong những chiếc áo măng tô và đeo găng tay để chống cái rét mùa đông. Sáu tháng sau, vào tháng giêng, tình hình đảo ngược lại, bởi vì hướng trục quay của Trái đất không đổi so với mặt phẳng Hoàng đạo, nên lúc này bán cầu Bắc lại nhận được nhiệt của Mặt trời ít hơn so với bán cầu Nam. Người Thụy Điển bây giờ thấy ngày ngắn lại và tuyết phủ trắng làng mạc phố xá của họ. Trong khi đó người Chilê lại chuẩn bị đi nghỉ hè ngoài bờ biển. Vũ điệu các mùa cứ diễn ra như vậy... Tất cả những điều đó đều là do Trái đất không đứng thẳng mà nghiêng.

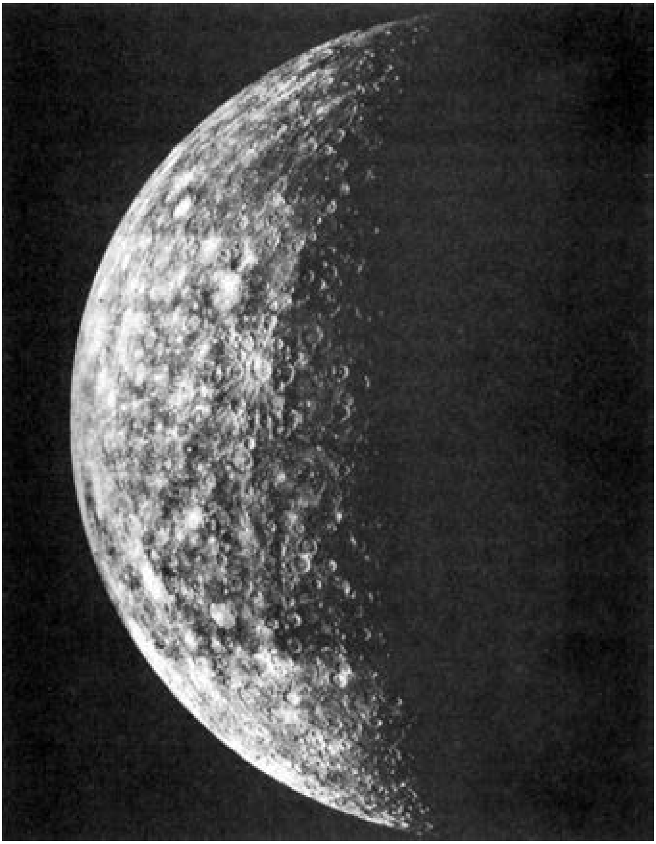


Hình 6. *Sự tạo thành các hố hình miệng núi lửa.* a) Đa số các hố hình miệng núi lửa trên bề mặt Mặt trăng (hay Thủy tinh) đều là do sự va chạm với các thiên thạch tới đập vào bề mặt của nó với vận tốc cỡ 10km/s hoặc hơn nữa. b) Dưới tác dụng của va chạm, thiên thạch bị bốc hơi và sóng xung kích truyền vào phía trong của hành tinh. c) Sự bùng nổ ở trung tâm tạo ra một hố rất lớn đồng thời làm bắn ra nhiều mảnh vụn với khối lượng tổng cộng lớn hơn khối lượng của thiên thạch tới 100 lần. d) Đại đa số các mảnh vụn lại rơi xuống hố, một số khác bắn rải rác ra xung quanh, số còn lại thoát khỏi lực hấp dẫn của hành tinh và biến mất vào không gian. Một số các mảnh vụn đó sẽ còn quay trở lại thăm Trái đất. Những va đập... làm đảo lộn

Vậy thì tại sao Trái đất lại đứng nghiêng? Để tìm ra chìa khóa cho điều bí mật này, chúng ta lại phải một lần nữa đi ngược dòng thời gian, trở lại cái thời mà Hệ Mặt trời mới thành hình, cách đây khoảng 4 tỷ năm. Lúc đó, phần lớn các viên sỏi đã được tập hợp lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn để tạo ra các hành tinh. Số lượng của chúng bây giờ đã giảm đi nhiều và những va đập dữ dội giữa các hành tinh và các thiên thể (H. 6) - mà bằng chứng là các bộ mặt rỗ hoa của Mặt trăng (H. 7) và Thủy tinh (H. 8) - cũng đã ngày càng trở nên hiếm hoi hơn. Tuy vậy, đây đó vẫn còn những thiên thạch lớn, lao vun vút với vận tốc hàng chục km/s với quỹ đạo cắt ngang qua quỹ đạo các hành tinh. Thi thoảng một thiên thạch lớn lại va vào một hành tinh. Cú va đập mạnh đến nỗi khiến cho hành tinh bị chao đảo và nghiêng đi. Đó cũng là những gì đã xảy ra đối với Trái đất. Khi các thiên thạch còn đông đúc và những va đập diễn ra nhiều hơn, ta có thể dễ dàng hình dung rằng số các va đập ở phía Bắc cũng nhiều như ở phía Nam đường xích đạo của hành



Hình 7. *Những vết thương của Mặt trăng.* Bức ảnh này được lắp ghép từ 1500 bức ảnh do con tàu thăm dò Clementine chụp xung quanh cực Nam của Mặt trăng. Rất nhiều hố hình miệng núi lửa của vùng này chứng tỏ sự bắn phá dữ dội của nhiều thiên thạch vào bề mặt Mặt trăng trong thời gian 100 triệu năm đầu tiên của lịch sử Hệ Mặt trời. (*Ảnh NASA*).



Hình 8. *Bề mặt rỗ hoa của Thủy tinh*. Đây là bức ảnh bề mặt Thủy tinh - hành tinh gần Mặt trời nhất - do con tàu thăm dò Mariner 10 chụp năm 1974. Toàn bộ bầu khí quyển nguyên thủy của Thủy tinh do bị đốt nóng bởi nhiệt của Mặt trời đã bị thổi dạt ra phía ngoài của Hệ Mặt trời. Nhiệt độ trung bình trên bề mặt của Thủy tinh là 350^0C và giảm xuống còn - 170^0C vào ban đêm. Do không có bầu khí quyển bảo vệ, nên trong quá trình hình thành Hệ Mặt trời, Thủy tinh luôn phơi mặt cho những thiên thạch bắn phá dữ dội. Vì vậy, giống như bề mặt của Mặt trăng, bề mặt Thủy tinh có tới hàng ngàn hố hình miệng núi lửa và các bồn với đường kính lên tới 1300km. Đa số các hố và bồn này đều mang tên các văn nghệ sĩ như Bach, Shakespeare, Goethe hoặc Mozart (trái lại, các vùng địa lý của Mặt trăng lại mang tên các nhà khoa học như Copernicus, Tycho, Kepler hay Descartes). (*Ảnh NASA*).

tinh. Một va đập ở phía Bắc làm đổ nghiêng Trái đất thì một va đập khác ở phía Nam lại dựng nó lên. Tuy nhiên, vào cuối thời kỳ hình thành Hệ Mặt trời kéo dài khoảng 440 triệu năm, số lượng các thiên thạch đã giảm đi nhiều, các cú va đập hiếm xảy ra, tới mức việc sửa lại (độ nghiêng) lần cuối đã trở nên không thể thực hiện được nữa. Do vậy mà Trái đất vẫn đứng ở tư thế nghiêng, đem lại cho loài người vũ điệu bốn mùa.

Cú va đập cuối cùng của hành tinh chúng ta với một thiên thể cỡ lớn thuộc về phạm vi của cái ngẫu nhiên, của sự tình cờ. Nó không hề được quy định trong các định luật của tự nhiên. Không có một định luật vật lý nào định trước cho Trái đất phải nghiêng 23,5°. Sự va đập tình cờ cũng có thể khiến cho Trái đất vẫn đứng thẳng như trường hợp Mộc tinh. Ngôi sao này chỉ nghiêng có 3° và nó không hề biết đến các mùa là gì. Nhiệt độ trên Mộc tinh thay đổi rất ít trong suốt vòng quay kéo dài 12 năm quanh Mặt trời. Hơn nữa, cho dù độ nghiêng của hành tinh khổng lồ này có nhiều hơn thì nó cũng không thể biết đến bốn mùa như trên Trái đất. Là một khối khí lớn, không có mặt đất vững chắc, Mộc tinh không bao giờ thấy màu hoa xuân cũng như không thể thấy mùa thu với những sắc vàng rực rỡ được.

Trên Kim tinh, Mặt trời mọc ở đàng Tây

Tất cả các hành tinh khác của Hệ Mặt trời đều ít nhiều có độ nghiêng. Thủy tinh là hành tinh gần Mặt trời nhất, giống như Mộc tinh, nó gần như đứng thẳng. Như một người lính ở tư thế đứng nghiêm, Thủy tinh chỉ nghiêng 2°, Kim tinh có độ nghiêng 13°. Song điều làm nên đặc điểm của “ngôi sao mục đồng” này không phải cái tên được đặt cho nó là sao Hôm (vì thực ra Kim tinh

không phải là một ngôi sao, nó chỉ là một hành tinh) mà là chiều quay của nó: nhờ đó, trên Kim tinh, Mặt trời mọc ở đàng Tây và lặn ở đàng Đông. Về một khía cạnh nào đó có thể xem như nó quay với đầu lộn xuống dưới, theo chiều trái với các hành tinh khác - những hành tinh đều quay từ Tây sang Đông. Không phải là chuyện ngẫu nhiên khi đa số các hành tinh đều *quay cùng một chiều*: chiều quay chung này là do chiều quay từ buổi ban đầu của tinh vân mặt trời. Song hướng quay riêng biệt của Kim tinh *từ Đông sang Tâ*y lại bắt nguồn từ cái ngẫu nhiên. Tinh vân mặt trời nguyên thủy thực ra cũng đã có thể quay từ Đông sang Tây. Trong trường hợp đó, thay vì Nhật Bản, nước Pháp sẽ là nước Mặt trời mọc và Việt Nam cũng như Trung Quốc sẽ là các nước phương Tây, còn nước Anh và Đức sẽ được gọi là các nước phương Đông.

Cái ngẫu nhiên và cái tình cờ cũng là những cái gây nên sự lộn đầu xuống dưới của Kim tinh. Hành tinh này vốn lúc đầu cũng đã quay từ Tây sang Đông như các hành tinh khác. Sau đó, có lẽ nó đã chịu một cú va đập rất mạnh với một thiên thể lớn bay theo hướng ngược với chiều quay của tinh vân mặt trời. Vụ va đập này đã làm cho hành tinh này quay ngược hẳn lại khiến cho Mặt trời mọc ở đàng Tây và lặn ở đàng Đông.

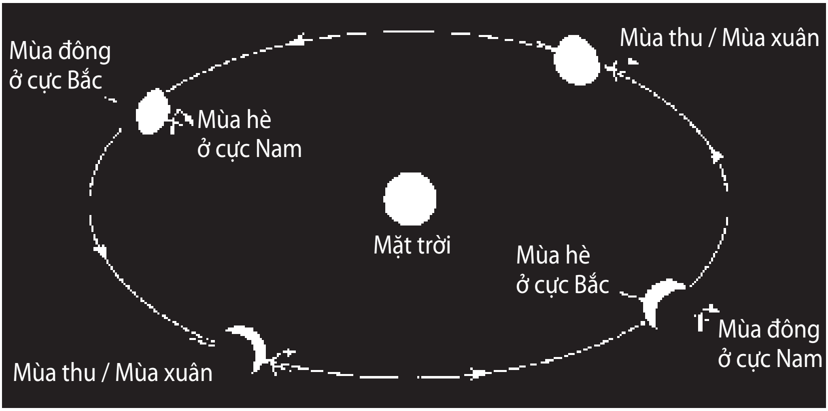
Trong khi đó Hỏa tinh, “hành tinh đỏ” ở gần Trái đất nhất, lại có độ nghiêng gần như độ nghiêng của hành tinh chúng ta ($25,2^{o}$). Do đó, nó cũng có vòng quay của các mùa cùng với nhiệt độ thay đổi như trên Trái đất vậy. Tuy nhiên, các mùa trên Hỏa tinh không có vẻ đẹp lộng lẫy và rực rỡ như các mùa của chúng ta. Mùa đông ở đây biểu hiện ở chỗ có sự ngưng tụ rất mạnh của khí cacbonic (chiếm 98%) trong không khí của Hỏa tinh, khiến cho bề mặt của vùng chỏm cực phình ra và mặt đất được bao phủ bởi một lớp tuyết cacbonic. Khi mùa xuân đến, sức nóng của Mặt trời làm cho

tuyết cacbonic bốc hơi và khí cacbonic trở lại bầu khí quyển của Hỏa tinh. Chỏm của vùng cực co trở lại như trước. Mùa hè, nhiệt độ mặt đất của Hỏa tinh nóng lên rất nhiều trong khi bầu khí quyển lại mát mẻ. Sự khác biệt rất lớn về nhiệt độ giữa mặt đất và không khí dẫn đến những trận bão cát dữ dội, giống như những trận bão xảy ra trong các sa mạc trên Trái đất. Những cơn bão cát này che khuất mặt đất Hỏa tinh, khiến cho các nhà quan sát trên Trái đất mất hàng tuần lễ không nhìn rõ bề mặt của nó. Các mùa trên Hỏa tinh cứ nối tiếp nhau như vậy, chỏm cực băng giá hết phình ra rồi co lại, tiếp nối với những trận bão cát dữ dội. Không có sự hẹn hò hoa trái mùa xuân và cảnh sắc rực rỡ mùa thu. Mặc dù đã có một thiên thạch từ Hỏa tinh rơi xuống Trái đất và đã được thu hồi tại Nam cực cho thấy dường như đã từng có sự sống nguyên thủy của một loài đơn bào trên Hỏa tinh từ cách đây 3 tỷ năm, song sự thần kỳ của đời sống thực vật như đã có trên Trái đất thì chưa hề tồn tại trên hành tinh đỏ này.

Một hành tinh nằm ngang

Bây giờ chúng ta hãy đến thăm hai hành tinh khổng lồ ở vòng ngoài của Hệ Mặt trời: Thổ tinh ở độ nghiêng 26,7^{o} và Hải Vương tinh với độ nghiêng 29,6^{o}. Điều này không có gì bất bình thường cả. Nhưng khi chúng ta gặp Thiên Vương tinh thì khác hẳn. Nó có độ nghiêng tới 98^{o}, nói cách khác nó đang nằm ngang! (H. 9). Đường xích đạo của nó đáng lẽ ra như các hành tinh khác phải gần như nằm trên mặt phẳng Hoàng đạo, nhưng đằng này lại vuông góc với mặt phẳng đó. Tình trạng đặc biệt của Thiên Vương tinh đã làm cho các mùa ở đây cực kỳ khác lạ. Mùa hè, ở Nam cực của hành tinh này có thể thấy Mặt trời trong suốt 42 năm (bằng

nửa thời gian cần thiết để Thiên Vương tinh quay đúng một vòng quanh Mặt trời); trong khi đó Bắc cực ngập chìm trong bóng đêm băng giá. Tình hình sẽ đổi ngược hẳn lại trong nửa năm tiếp sau (tính theo năm Thổ tinh), tức 42 năm của Trái đất. Trên Thổ tinh tại hai cực, trong cả một đời người, chúng ta chỉ có thể được hai lần nhìn thấy cảnh tượng huy hoàng lúc Mặt trời mọc và lặn. Một lần nữa chúng ta lại thấy cái ngẫu nhiên là nguồn gốc gây ra sự kỳ lạ của các mùa trên Thiên Vương tinh. Và cũng lại một lần nữa, một thiên thạch có lẽ là thủ phạm gây ra tình trạng này. Người ta cho rằng, quả thực, sự đụng độ với một thiên thể cỡ lớn đã làm đổ nhào Thiên Vương tinh sang một bên như vậy.



Hình 9. *Các mùa kỳ lạ trên Thiên Vương tinh.* Thiên Vương tinh hoàn toàn nằm ngang: trục quay của nó chỉ nghiêng 8° đối với mặt phẳng quỹ đạo quay quanh Mặt trời của nó. Vì vậy trong thời gian mùa hè, ở cực Nam Thiên Vương tinh, Mặt trời không hề lặn trong suốt 42 năm, trong khi cùng thời gian đó cực Bắc đắm chìm trong bóng đêm băng giá của mùa đông. Tình hình sẽ đảo ngược lại trong 42 năm tiếp sau, khi Thiên Vương tinh ở phía đối ngược trên quỹ đạo của nó quay quanh Mặt trời.

Vậy là các sự kiện ngẫu nhiên không được quy định trong các định luật của tự nhiên, cũng không phải được tiền định, đã gây ra những hậu quả tác động đến mọi cấp độ của thực tại. Trên Trái đất, các sự kiện ngẫu nhiên ảnh hưởng trực tiếp đến cuộc sống hằng ngày của chúng ta. Thực ra, Trái đất hoàn toàn có thể đứng thẳng như Mộc tinh và có nhiệt độ hằng ngày không đổi trong cả năm. Nó cũng có thể nghiêng hẳn sang một bên như Thiên Vương tinh và chúng ta đã có thể phải chứng kiến một đêm mùa đông kéo dài 6 tháng. Song cái ngẫu nhiên đã làm cho Trái đất có độ nghiêng 23,5° và điều đó cho phép ta được chiêm ngưỡng vẻ đẹp của mùa đông trắng tuyết và mùa xuân rực rỡ sắc hoa, hoặc toàn bộ gam màu từ đỏ son đến vàng nâu của rừng thu. Từ Chiêm tinh học (*Astrology*) ở đây mang một ý nghĩa mới: cuộc sống hằng ngày của chúng ta không phải được xác định bởi vị trí của ngôi sao ta cầm tinh mà bởi các sự kiện ngẫu nhiên của tạo hóa diễn ra từ rất xa xưa trong quá khứ của Hệ Mặt trời.

Các mùa trên Trái đất không chỉ phụ thuộc vào độ nghiêng của nó. Hình thù của quỹ đạo quay quanh Mặt trời của Trái đất cũng đóng một vai trò quan trọng. Hình thù đó, như Kepler đã cho chúng ta biết từ năm 1609, không phải là một vòng tròn mà là hình elip với Mặt trời nằm tại một trong hai tiêu điểm của nó. Hình elip này làm cho khoảng cách giữa Mặt trời và Trái đất thay đổi với một sự sai khác không nhiều (khoảng dưới 1%) giữa hai khoảng cách khi Trái đất ở vị trí xa Mặt trời nhất và khi nó ở gần Mặt trời nhất. Sự sai khác nhỏ này cũng đủ để tạo ra sự khác biệt giữa các mùa ở Bán cầu Bắc và ở Bán cầu Nam. Ở đây, một lần nữa, cái ngẫu nhiên lại được thể hiện. Sự ngẫu hợp của hoàn cảnh đã làm cho khi ở Bán cầu Bắc là mùa hè, ở Bán cầu Nam là mùa đông, thì đó là lúc Trái đất ở vào vị trí xa Mặt trời nhất trên quỹ đạo của

nó, và do đó nhận được sức nóng của Mặt trời ít hơn. Những cư dân sống ở phía trên đường xích đạo được sống một mùa hè ít oi bức hơn trong khi cư dân sống ở dưới đường xích đạo lại chịu rét nhiều hơn. Sáu tháng sau, ở phía Bắc lại là mùa đông và phía Nam là mùa hè. Số phận tiếp tục ưu đãi những cư dân sống ở phía trên đường xích đạo. Trái đất bây giờ ở vào vị trí gần Mặt trời nhất, nó nhận được sức nóng Mặt trời nhiều hơn bình thường. Cư dân ở Bán cầu Bắc phải chịu rét ít hơn và cư dân ở Bán cầu Nam phải chịu cái nóng thiêu đốt hơn.

Như vậy là cái ngẫu nhiên đã ảnh hưởng trực tiếp đến cuộc sống của chúng ta. Nó tác động tới tất cả các cấp độ của thực tại.

Sao Bắc Cực không còn là Bắc cực nữa

Phải chăng tình hình cứ sẽ diễn ra như hiện thời? Có phải cư dân Bán cầu Bắc sẽ mãi mãi được ưu đãi, tức được hưởng một khí hậu luôn luôn ít khắc nghiệt hơn so với cư dân ở Bán cầu Nam không? Sẽ có thể là như vậy nếu trục quay của Trái đất luôn hướng về sao Bắc Cực. Trong số tất cả những ngôi sao nhấp nháy trên bầu trời đêm, ngôi sao trong chòm Tiểu hùng tinh này dường như cứ đứng yên bất động bất chấp sự chuyển động quay của Trái đất. Song hướng trục quay Trái đất lại không cố định. Nhà thiên văn học Hy Lạp Hipparchus đã biết rõ điều đó từ năm 120 trước Công nguyên (CN). Thời niên thiếu, chúng ta ai mà không mê mẩn trước chuyển động quay tít của con quay. Trong chuyển động đó, trục của con quay không cố định mà vẽ nên một hình nón. Giống như con quay của trẻ nhỏ, trục quay của Trái đất cũng vẽ nên hình nón, chỉ khác là nó không vẽ nên trong vài giây mà trong một thời gian dài tới 26.000 năm. Các nhà thiên văn gọi chuyển động này

là "sự tiến động" (H.10). Như vậy là cách đây 4.000 năm, trục Bắc cực - Nam cực không hướng về phía sao Bắc Cực mà hướng về sao Alpha trong chòm sao Thiên Long. Trong vòng 14.000 năm tới, các cháu chắt chút chít của chúng ta sẽ thấy trục quay của Trái đất hướng về một ngôi sao khác: sao Vega (Chức Nữ) trong chòm sao Thiên Cầm[1]. Tới thời xa xăm đó, khi Bán cầu Bắc ở vào mùa hè, Trái đất sẽ ở gần Mặt trời hơn trên quỹ đạo của nó. Lúc đó các cư dân ở phía Bắc đường xích đạo sẽ phải chịu đựng những mùa hè nóng gắt hơn và những mùa đông khắc nghiệt hơn.

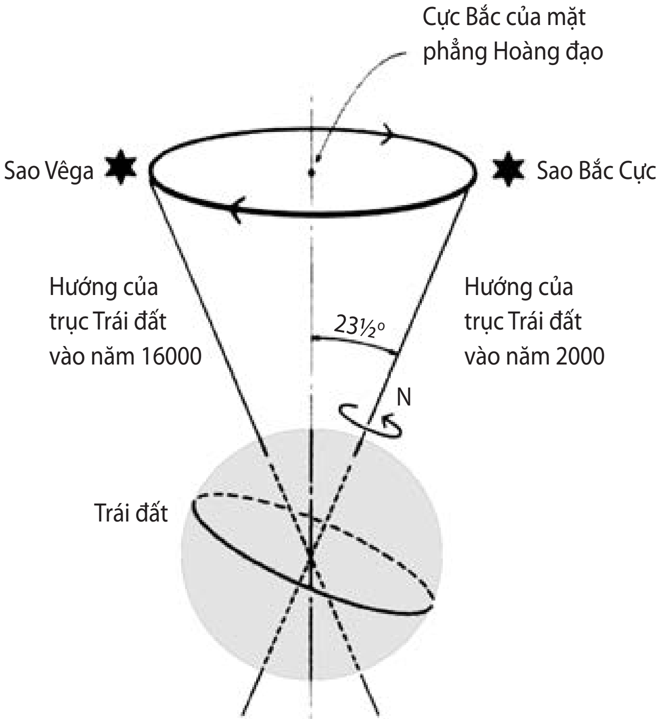
Nhưng tại sao trục quay của Trái đất lại chuyển động như vậy? Nếu là con quay của trẻ nhỏ, thì nguyên nhân chính là do lực hấp dẫn của Trái đất gây ra. Trong trường hợp Trái đất, nguyên nhân là do tương tác hấp dẫn giữa hành tinh này, Mặt trời - ngôi sao của sự sống và Mặt trăng - vì tinh tú đêm đêm chiếu ánh sáng êm dịu xuống những xóm làng yên ngủ.

Chúng ta vừa chứng kiến những diễn biến dẫn đến sự ra đời của Mặt trời, khởi đầu từ tinh vân mặt trời. Song nguồn gốc của Mặt trăng lại không hiển nhiên như vậy và các cuộc tranh luận về vấn đề này vẫn còn diễn ra hết sức gay gắt cho đến giữa thập kỷ 1980.

Chúng ta sẽ thấy cái ngẫu nhiên và cái tình cờ lại một lần nữa đóng vai trò quan trọng như thế nào để tạo ra cho Trái đất một vệ tinh. Chúng ta cũng sẽ lại thấy, bên cạnh cái tất yếu, cái ngẫu nhiên đóng một vai trò hoàn toàn riêng biệt trong công cuộc tạo ra thực tại dưới tất cả mọi phương diện của nó, từ sự lên xuống của thủy triều đại dương cho đến tận sự phát triển của chính sự sống.

---

1. Jacques Laskar, "Mặt trăng và nguồn gốc của con người", Tạp chí *Pour la Science*, tháng 8 năm 1993.



Hình 10. *Sao Bắc Cực không còn là Bắc cực nữa*. Các lực hấp dẫn do Mặt trời và Mặt trăng tác dụng lên chỗ phình ra ở xích đạo Trái đất (bán kính xích đạo Trái đất lớn hơn bán kính ở cực của nó khoảng vài chục km, nguyên nhân do sự quay của Trái đất tạo ra lực ly tâm làm phình vùng xích đạo của nó) nhằm nâng Trái đất đứng thẳng dậy (vì Trái đất nghiêng một góc $23{,}5^0$ đối với đường vuông góc với mặt phẳng Hoàng đạo). Thay vì đứng thẳng dậy, trục của Trái đất lại thực hiện một chuyển động tròn, gọi là tiến động, quay một vòng hết 26000 năm. Sao Bắc Cực ở cách trục quay của Trái đất 1 độ góc, hiện đóng vai trò là sao Bắc Cực đúng như tên gọi của nó. Nhưng trong quá khứ nó không phải luôn luôn đóng vai trò đó và sẽ mất vai trò đó trong tương lai. Trong khoảng 14000 năm nữa (tức là vào năm 16000) sao Vega sẽ đóng vai trò này và sau đó 12000 năm nữa (tức là vào năm 28000) sao Bắc Cực lại giành vai trò đó.

Cuộc điều tra về Mặt trăng

Để đi ngược trở lại tới cội nguồn của Mặt trăng, các nhà thiên văn học, giống như Sherlock Holmes, phải thu thập tất cả các dấu hiệu có ý nghĩa nhất và dựng nên một kịch bản trong đó các dấu hiệu ấy được chắp nối lại với nhau một cách lôgic. Chúng ta hãy bắt đầu từ việc tìm kiếm các dấu hiệu có khả năng dẫn đến một hướng đi đúng.

Dấu hiệu thứ nhất: cặp Trái đất - Mặt trăng rất không bình thường. Mặt trăng là vệ tinh quá lớn trong mối tương quan với Trái đất. Thật vậy, các hành tinh khổng lồ như Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên Vương tinh và Hải Vương tinh đều có các vệ tinh của chúng. Tuy nhiên, các vệ tinh này có khối lượng chỉ ngang với khối lượng Mặt trăng, trong khi đó các hành tinh khổng lồ nói trên lần lượt có khối lượng lớn gấp 318, 95, 15 và 17 lần khối lượng Trái đất. Đường kính của Mặt trăng (3.400km) bằng một phần tư đường kính Trái đất (12.700km), trong khi đó đường kính của Mộc tinh (143.000km) và của Thiên Vương tinh (51.000km) đều lớn gấp 30 lần, còn đường kính của Thổ tinh (120.500 km) và của Hải Vương tinh (49.500 km) lần lượt lớn gấp 23 và 18 lần đường kính vệ tinh lớn nhất của chúng.

Thêm một chi tiết đáng bận tâm khác: trong số các hành tinh kiểu Trái đất, chỉ Trái đất là có một vệ tinh Mặt trăng lớn như thế (xem ảnh 3 của tập ảnh màu). Thủy tinh và Kim tinh không có vệ tinh. Hỏa tinh có hai, Phobos và Deimos, song kích thước của các vệ tinh này rất nhỏ - đường kính của chúng chỉ là 28 và 16km, tức là bằng một thiên thạch to. Điều này đã khiến cho nhà vật lý thiên văn người Nga Iossif Shklovski, vào những năm 1950, đưa ra ý kiến cho rằng đấy chẳng qua chỉ là các con tàu vũ trụ do những người Hỏa tinh phóng vào quỹ đạo!

Tiếp tục cuộc điều tra, nhà thiên văn-thám tử của chúng ta phát hiện ra rằng Mặt trăng có mật độ (cũng tức là khối lượng riêng - ND) trung bình rất thấp (chỉ bằng 3,3 lần mật độ của nước), thấp hơn mật độ Trái đất (bằng 5,5 lần mật độ của nước). Sở dĩ có sự khác biệt ấy là do hành tinh của chúng ta có một lõi sắt trong khi Mặt trăng không có. Song cũng có một sự trùng hợp rất hay là mật độ của Mặt trăng bằng mật độ của đá granit ở vỏ Trái đất. Vậy thì liệu giữa đá ở vỏ Trái đất và Mặt trăng có mối liên hệ gì không?

Nhà thiên văn học tiếp tục cuộc điều tra với 382 kg đá do Neil Armstrong và mười một nhà du hành vũ trụ Mỹ khác của Chương trình Apollo lấy từ 6 điểm khác nhau trên Mặt trăng đem về Trái đất trong khoảng thời gian từ 1969-1984. Phân tích trong phòng thí nghiệm, người ta thấy các mẫu vật lấy từ Mặt trăng về có độ khô chưa từng thấy. Không có dấu tích của một phân tử nước nào, trong khi các khối đá ở Trái đất, kể cả đá ở các sa mạc khô cằn nhất, cũng vẫn có dấu tích nước. Một sự khác biệt nữa: so sánh với đá sỏi ở Trái đất, đá ở Mặt trăng thiếu những nguyên tố dễ bay hơi (ở nhiệt độ thấp) như kali, hoặc natri, nhưng chúng lại chứa nhiều hơn các nguyên tố chịu lửa như canxi và nhôm (các nguyên tố này nóng chảy và bốc hơi ở nhiệt độ cao).

Nhà thiên văn-thám tử của chúng ta từ đó suy ra rằng Mặt trăng được cấu tạo bằng vật liệu được nung ở nhiệt độ cao (trên 1.000^{o}C) hơn là vật liệu tạo nên Trái đất. Do vậy, các nguyên tố dễ bay hơi đã bay biến hết vào không gian để lại cho Mặt trăng chỉ còn các nguyên tố chịu lửa tốt hơn.

Trái đất đẻ ra Mặt trăng

Cũng như ở đoạn kết thúc của bất cứ cuốn tiểu thuyết trinh thám nào của Agatha Christie, tới thời điểm quyết định nhất, nhà thám tử tập hợp tất cả các nhân vật chủ chốt trong vụ án vào phòng khách để trình bày cho họ nghe lời giải của bài toán và kết cục là gọi ra tên của kẻ phạm tội. Và cũng như trường hợp của thám tử Hercule Poirot, cuộc điều tra về Mặt trăng hoàn toàn không dễ dàng gì và nhà thiên văn trước hết kể cho mọi người nghe mình đã nhiều lần bị lạc hướng như thế nào.

Đầu tiên ông đã cho rằng Mặt trăng, cũng giống như tất cả các hành tinh và vệ tinh khác của Hệ Mặt trời, được sinh ra theo cùng một cách: đó là sự kết dính của các tiểu hành tinh cách đây 4,6 tỷ năm. Bằng cách này, Mặt trời đã xuất hiện cùng với 8 hành tinh (còn hành tinh thứ 9, Diêm Vương tinh, người ta coi như một tiểu hành tinh rất lớn quay ở biên của Hệ Mặt trời). Các hành tinh "khổng lồ" với cả một bầy đàn Hằng Nga vệ tinh đi theo (Mộc tinh có 16, Thổ tinh có gần hai tá) cũng đã xuất hiện như thế. Bào thai Mặt trăng lớn lên trong một vành vật chất chịu tác dụng từ lực hấp dẫn của Trái đất và quay quanh nó. Song giả thuyết này không cắt nghĩa được tại sao Mặt trăng lại quá lớn so với Trái đất trong khi các vệ tinh của Mộc tinh và Thổ tinh lại nhỏ hơn rất nhiều so với các hành tinh mẹ. Giả thuyết ấy cũng chưa nói được tại sao trong số bốn hành tinh rắn, Trái đất lại là hành tinh duy nhất có một vệ tinh lớn đến vậy. Ngoài ra Mặt trăng được cấu tạo bởi những vật liệu cực khô, chứa đựng ít nguyên tố dễ bay hơi và nhiều nguyên tố chịu lửa hơn, và Mặt trăng chỉ có một lõi sắt không đáng kể. Tất cả những điều đó còn nằm trong bí mật hoàn toàn.

Vậy là bây giờ phải quay trở lại và lần theo một con đường mới: liệu có thể Mặt trăng là một thiên thể lang thang, vô tình bay đến

thăm Hệ Mặt trời và bị lực hấp dẫn của Trái đất bắt giữ, để rồi không bao giờ ra đi được nữa? Giả thuyết này giải thích được vì sao Trái đất là hành tinh duy nhất có một vệ tinh lớn đến vậy. Là một trong số bốn hành tinh kiểu Trái đất, Trái đất có cái may mắn là đã bắt được một bạn đường lý tưởng để kết thành lứa đôi mãi mãi. Chỉ nó mới có một Hằng Nga rạng rỡ, tạo cảm hứng cho các thi nhân và thi thoảng lại che lấp cái đĩa mặt trời, chặn ánh ngày lại, mang đến cho con người trên Trái đất chúng ta cảnh tượng nhật thực đầy ma lực. Và cuối cùng, nếu như Mặt trăng vốn chỉ là một vị khách vãng lai tới Hệ Mặt trời thì điều đó cũng có thể giải thích được tại sao thành phần hóa học của nó lại hơi khác...

Giả thuyết này nghe ra khá hấp dẫn, nhưng nó không thể đứng vững được khi người ta xem xét nó một cách cụ thể. Việc bắt giữ một thiên thể khi nó đến gần Trái đất là điều cực kỳ khó xảy ra. Đã từng có rất nhiều thiên thể đều đặn đến thăm các vùng lân cận Trái đất, song chưa bao giờ chúng bị giữ lại ở đó, mà đều quay trở lại vùng biên của Hệ Mặt trời - nơi mà chúng đã xuất phát. Việc bắt giữ Mặt trăng cũng có thể xảy ra, nhưng phải xảy ra trong những điều kiện quá ư đặc biệt, khiến cho giả thuyết đó khó có thể được xem là nghiêm túc. Nhờ có các máy tính, chúng ta biết được rằng để một cuộc bắt giữ như vậy xẩy ra thì Mặt trăng nhất thiết phải đến gần Trái đất ở khoảng cách ít ra là 50.000 km (một phần mười vạn kích thước của Hệ Mặt trời, tựa như một sợi tóc so với chiều dài của một sân bóng đá) mà không bị va vỡ tan tành vào Trái đất; và Mặt trăng lại còn phải chuyển động với một vận tốc vừa đủ để không thể thoát ra khỏi sự kiềm tỏa của lực hấp dẫn của Trái đất. Hơn nữa, một thiên thể bị bắt giữ như thế, ắt phải có một quỹ đạo hình elip dẹt chứ không phải là một quỹ đạo gần tròn như ta quan sát thấy. Rốt cuộc, giả thuyết trên đã nhanh chóng đi

vào quên lãng, và thế là nhà thiên văn-thám tử lại phải đi tìm một con đường mới.

Con đường mới này đã được nhà thiên văn học người Anh George Darwin (1845-1912) khởi xướng vào cuối thế kỷ XIX. Ông là con trai của nhà phát minh ra thuyết tiến hóa của các loài. Theo ông, chính Trái đất đã sinh ra vệ tinh của nó. Cụ thể là Mặt trăng đã bị văng ra từ Trái đất dưới tác dụng của lực ly tâm do chuyển động quay của Trái đất. Lực ly tâm đó cũng chính là lực đã từng đẩy xô bạn ra phía cửa xe khi mà người tài xế cho xe vào cua quá gấp. Lúc mới ra đời, Trái đất có lẽ đã quay nhanh hơn nhiều so với hiện nay. Lực ly tâm rất mạnh khi đó đã làm bứt hẳn ra cả một vùng của vỏ Trái đất và ném nó vào không gian, tạo ra một lỗ hổng lớn trên bề mặt của hành tinh chúng ta. Lỗ hổng đó nay là lòng của Thái Bình Dương. Khối vật chất văng ra từ Trái đất sau đó đã kết tụ lại để tạo thành Mặt trăng.

Liệu lý thuyết trên có thể giải thích được tất cả mọi dấu hiệu đã thu thập được không? Đương nhiên nó giải thích được sự tương tự về mật độ của vỏ Trái đất và của Mặt trăng, song nó vẫn chưa nói được gì về sự khác nhau trong thành phần hóa học của chúng. Nhưng rồi, cuối cùng, lý thuyết này cũng đã bị bác bỏ, khi nó phải đối mặt với câu hỏi sau đây: thời Trái đất còn thai nghén Mặt trăng thì liệu vận tốc quay của nó có đủ nhanh để tạo ra một lực ly tâm đủ mạnh để làm văng Mặt trăng ra ngoài hay không? Và các tính toán đã tuyên án một cách dứt khoát: thực tế Trái đất quay quá chậm để có thể tạo ra được cú văng ấy. Muốn có được một lực ly tâm lớn tới mức đó, Trái đất phải quay nhanh gấp 10 lần, có nghĩa là nó chỉ cần 2 tiếng rưỡi đồng hồ để quay hết trọn một vòng quanh mình nó. Khó hiểu nổi làm thế nào mà một Trái đất quay với vận tốc điên cuồng như thế lại có thể được tạo dựng bằng cách

kết dính các viên sỏi. Mặt khác, giả sử vận tốc quá cao ấy là có thật đi nữa, thì làm thế nào để nó có thể giảm mạnh tới mức kéo dài thời gian một ngày từ hai tiếng rưỡi lên tới những 24 tiếng như hiện nay? G. Darwin đã cố gắng bảo vệ lý thuyết của mình bằng cách viện ra hiện tượng cộng hưởng. Theo ông thì hiện tượng này có thể khuếch đại thêm chuyển động văng ra mà không cần đến vận tốc quay và lực ly tâm quá lớn. Song không ai tin vào điều đó. Hơn nữa, ngày nay người ta biết rằng trên Trái đất, các đại dương nói chung và Thái Bình Dương nói riêng, được tạo ra không phải là do những mảnh của vỏ Trái đất bị văng đi, mà bởi các mảng lục địa bị trôi dạt làm thành các hố sâu rộng lớn và nước đã lấp đầy.

Kẻ đập phá vĩ đại

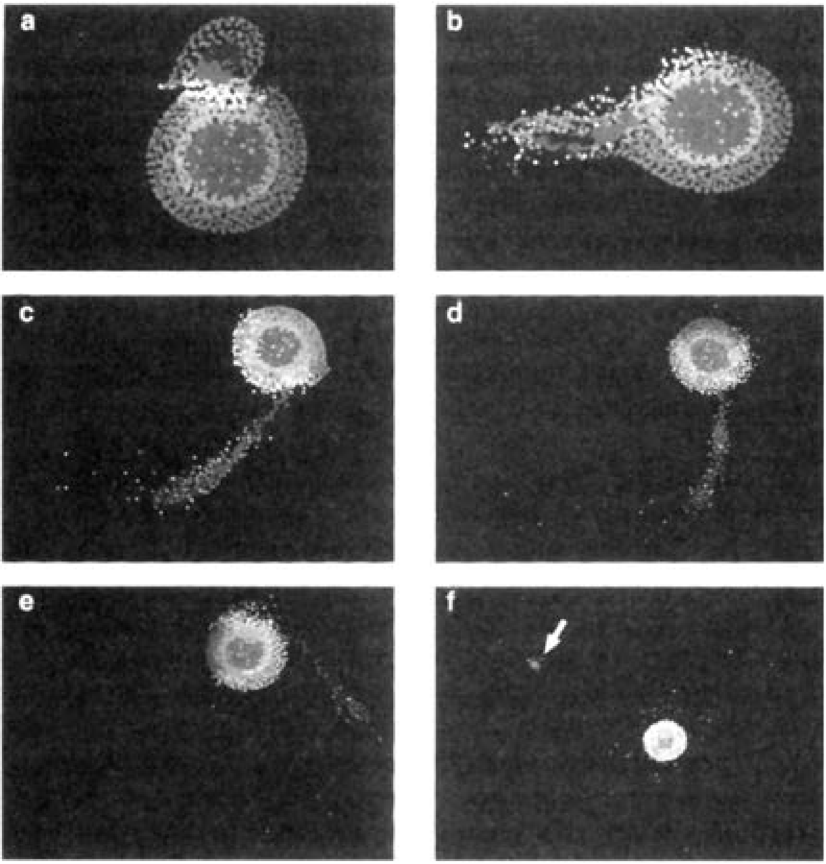
Đến đây nhà thiên văn-thám tử của chúng ta xoa hai tay và mắt ánh lên vẻ tinh quái. Nghĩa là anh ta đã kết thúc câu chuyện về những con đường sai lầm của mình. Vốn là một đệ tử sáng giá của Sherlock Homes và Hercule Poirot, anh ta giờ đây sẽ trình bày cho chúng ta nghe về lý thuyết không những giải thích được mọi dấu hiệu đã thu thập mà còn chỉ ngay ra thủ phạm là kẻ nào.

Trước hết anh ta đưa chúng ta trở lại thời kỳ còn hết sức lộn xộn của Hệ Mặt trời, khi mà các hành tinh vừa mới ra đời do sự kết dính của các tiểu hành tinh. Đây đó các thiên thạch lớn vẫn lao vun vút trong không gian với vận tốc hàng chục km/s. Thi thoảng lại xảy những cú va đập dữ dội giữa các hành tinh và các thiên thạch đó, làm văng ra những khối vật chất to lớn. Trong trường hợp các cú va đập với năng lượng không đủ lớn thì các khối vật chất văng ra lại rơi trở về Trái đất (H. 6). Song đối với các cú va đập dữ dội nhất, thì năng lượng truyền cho khối vật chất văng ra lớn

tới mức nó có thể thoát khỏi lực hấp dẫn của hành tinh và văng hẳn ra ngoài. Chính cú va chạm tương tự của một trong số các khối thiên thạch điên cuồng đó vào Trái Đất, như chúng ta đã thấy ở trên, đã làm cho hành tinh chúng ta đổ nghiêng để mang lại cho chúng ta vũ điệu của bốn mùa và cảnh tượng rực rỡ của những cánh đồng oải hương nở hoa. Nhà thiên văn thám tử nêu ra giả thuyết rằng cũng chính một trong số những cú va đập dữ dội đó đã bứt Mặt trăng ra khỏi vỏ Trái đất. Rồi anh ta mô tả cho chúng ta về Kẻ đập phá vĩ đại ấy: đó là một thiên thạch cực lớn, có khối lượng bằng một phần mười khối lượng Trái đất và to gần bằng Hỏa tinh. Nó đến đâm vào Trái đất từ cách đây 4,6 tỷ năm. Trong cú va đập khủng khiếp đó, các khối vật chất từ cả Trái đất lẫn từ thiên thạch lớn đều bắn vào không gian. Một phần của năng lượng cực lớn trong cú va đập đó được chuyển hóa thành nhiệt làm nóng chảy và bốc hơi các khối vật chất bị bắn ra. Nước và các nguyên tố dễ bay hơi đều bay hơi hết rồi mất hút trong vũ trụ[1]. Phần còn lại không bốc hơi của các khối vật chất bắn ra gồm chủ yếu là các nguyên tố chịu lửa. Phần này về sau kết tụ lại để tạo thành Mặt trăng, nghèo các nguyên tố dễ bay hơi nhưng lại giàu các nguyên tố chịu lửa (H. 11).

Lý thuyết về một cú va đập khổng lồ còn giải thích được nhiều sự kiện khác nữa. Mặt trăng có mật độ gần bằng mật độ vỏ Trái đất là bởi vì nó được bứt ra từ chính vỏ này. Nhân của Mặt trăng nghèo chất sắt, bởi vì phần trung tâm của thiên thạch va đập giàu chất sắt đã bị nhập vào Trái đất mất rồi.

1. Các mẩu của Mặt trăng và Hỏa tinh bị bắn ra trong những cú va chạm dữ dội ấy cũng đã từng rơi xuống Trái đất. Ngoài ra, gần đây một số nhà khoa học tuyên bố đã phát hiện ra ở Hỏa tinh có sự sống tồn tại ở trạng thái vi khuẩn, chính là ở trong một thiên thạch bắn ra từ Hỏa tinh và rơi xuống Nam cực Trái đất.



Hình 11. *Sự tạo thành Mặt trăng*. Mặt trăng rất có thể đã được tạo ra là do sự va chạm dữ dội của một thiên thạch khổng lồ với Trái đất còn non trẻ diễn ra trong thời gian khoảng 100 triệu năm đầu tiên của lịch sử Hệ Mặt trời. Dãy hình ảnh từ *a* đến *f* ở trên cho thấy sự mô phỏng trên máy tính cú va đập của một thiên thạch nặng vào Trái đất. Trong mô phỏng đó, khối lượng của thiên thạch bằng một phần mười khối lượng Trái đất. Sự va chạm (H. a) làm bắn ra từ vỏ Trái đất những khối vật liệu mà sau này được kết tập thành một vật thể duy nhất dưới tác dụng của lực hấp dẫn. Các hình từ *b* đến *e* cho thấy sự tiến hóa đó diễn ra trong những vùng không gian ngày càng rộng lớn xung quanh Trái đất. Kết quả cuối cùng là tạo thành Mặt trăng (được chỉ bởi mũi tên trên hình *f*).

Sức mạnh của các máy tính hiện đại đã cho phép kiểm tra khả năng chấp nhận của một giả thuyết như thế. Lý thuyết Kẻ đập phá vĩ đại hiện đang là lý thuyết tốt nhất dùng để giải thích nguồn gốc của Mặt trăng. Nó dễ được chấp thuận so với các lý thuyết khác vì nó giải thích được tốt nhất các dấu hiệu đã thu thập được. Theo cách nhìn của lý thuyết này, Trái đất là hành tinh duy nhất trong số bốn hành tinh "vòng trong" (của Hệ Mặt trời) có được một Mặt trăng lớn như vậy, bởi vì đó là hành tinh duy nhất đã phải chịu một cuộc va đập mạnh đến thế với một thiên thạch lớn. Một thiên thạch như vậy nếu nó chỉ to hơn một chút thôi, thì đã có thể đập tan Trái đất thành muôn nghìn mảnh rồi.

Thế là một lần nữa cái ngẫu nhiên và cái tình cờ đã can thiệp mạnh mẽ để xác định thực tại ở mức độ sâu xa nhất của nó. Nếu sự may rủi đã làm cho thiên thạch sát nhân kia to hơn một chút, thì Trái đất không còn tồn tại nữa và chúng ta cũng sẽ không có mặt ở đây để nói về nó. Một sự kiện ngẫu nhiên từng xảy ra cách đây 4,6 tỷ năm đã không những là nguyên nhân tạo ra "ánh trăng đêm" chiếu sáng các vùng quê của chúng ta trong những đêm rằm mà còn là nguyên nhân cho sự tồn tại của chính chúng ta nữa. Bởi vì ngoài vai trò là ngọn đèn đêm và là nguồn cảm hứng của các nhà thơ ra, Mặt trăng còn đóng một vai trò quan trọng khác nữa. Nó nhất thiết phải có để cho sự sống xuất hiện trên Trái đất, vì nó đóng vai trò làm ổn định khí hậu Trái đất. Dưới đây chúng ta sẽ thấy rõ điều đó.

Băng giá xâm chiếm Trái đất

Chúng ta vã mồ hôi trong cái nóng mùa hè và rét run trong cái lạnh cắt da cắt thịt của mùa đông, bởi vì như đã biết, Trái đất đứng nghiêng và chuyển động theo quỹ đạo elip quanh Mặt trời, lúc ở

gần lúc ở xa. Sự thay đổi khoảng cách Trái đất - Mặt trời không nhiều lắm, chỉ dưới 1% so với khoảng cách trung bình, song cũng đủ để làm cho người Chilê ở phía Nam đường xích đạo phải chịu đựng một cái nóng rát hơn của mùa hè và một cái rét khắc nghiệt hơn của mùa đông, so với người Mỹ ở phía Bắc đường xích đạo. Tình hình còn phức tạp hơn khi độ nghiêng của Trái đất và quỹ đạo của nó không phải là bất biến. Ảnh hưởng của lực hấp dẫn từ Mặt trăng, Mặt trời và các hành tinh khác đối với Trái đất cũng gây ra những nhiễu loạn làm cho độ nghiêng và quỹ đạo của Trái đất luôn biến đổi theo dòng thời gian. Ánh nắng của Mặt trời làm rám da bạn vào mùa hè và sưởi ấm bạn vào mùa đông, cũng thay đổi độ nóng của nó qua năm tháng. Song bạn hãy yên tâm. Những thay đổi đó không xảy ra trong một vòng đời của một con người mà thường ở quy mô hàng chục, thậm chí hàng trăm nghìn năm.

Trước hết chúng ta hãy xem xét “hành vi” của trục quay Trái đất. Trục quay này xử sự một cách khá đúng mực. Trong vòng một triệu năm, độ nghiêng của Trái đất không thay đổi quá $1{,}3^0$ so với độ nghiêng trung bình của nó là 23,5°. Chính sự xê dịch rất nhỏ đó đã làm cho khí hậu Trái đất ổn định, một điều hết sức cần thiết cho sự nẩy nở và phát triển của sự sống trên hành tinh chúng ta. Điều đó không có nghĩa là thêm độ nghiêng 1,3° về phía Mặt trời không gây hậu quả gì đối với cuộc sống Trái đất. Nếu sự thay đổi đó xảy ra chỉ trong ngày một ngày hai, thì một người Thụy Điển sống ở vĩ độ 65° phía trên đường xích đạo sẽ phải đột ngột chịu đựng 20% độ nóng tăng thêm vào mùa hè. Song điều quan trọng hơn nhiều là nhiệt lượng tăng thêm đó đã đóng và còn tiếp tục đóng một vai trò quyết định đối với sự cân bằng khí hậu Trái đất, bởi vì nhiệt lượng ấy sẽ làm tan chảy các tảng băng tích tụ trong mùa đông và ngăn cản chúng xâm chiếm các địa lục.

Tuy nhiên, Trái đất trong quá khứ đã trải qua nhiều thời kỳ bị băng giá xâm chiếm. Các trầm tích tích tụ ở các lòng hồ, đáy biển đã cho chúng ta biết điều đó. Đất sét và cát bị bứt ra khỏi các lục địa do sự xói mòn, những bộ xương hóa thạch, những loại tảo nhỏ li ti, các mẫu băng - những ký ức của khí hậu cổ xưa ấy tự chúng đã kể lại cho chúng ta biết rằng: thời kỳ đóng băng cuối cùng đã xảy ra cách đây 20.000 năm. Lúc đó, toàn bộ nước Canada, cả miền Bắc nước Mỹ, xứ Groenland và miền Bắc châu Âu đều nằm sâu dưới lớp băng dày tới 4km. Theo nhà thiên văn học Nam Tư Miloutine Milankovitch, những thời kỳ đóng băng rộng lớn như thời kỳ ở vào kỷ thứ tư, đã xảy ra do một sự ngẫu hợp hoàn cảnh rất đặc biệt: Trái đất đang ở gần Mặt trời nhất trên quỹ đạo của nó, trong khi tại Bán cầu bắc đang là mùa đông, một mùa đông không rét lắm (vì Trái đất đang ở gần Mặt trời nhất, nên nhận được nhiều nhiệt nhất) và rất ngắn (vì lực hấp dẫn mạnh hơn của Mặt trời, do ở gần hơn, nên kéo Trái đất chuyển động nhanh hơn, rút ngắn thời gian của mùa đông). Trái lại, mùa hè lúc đó lại mát mẻ và kéo dài. Do mùa hè thời tiết mát mẻ, tuyết rơi từ mùa đông năm trước không tan chảy hết. Tuyết không tan tích tụ lại qua nhiều năm và chuyển thành băng. Khi đó, nó có tác dụng như một tấm gương soi, phản xạ sức nóng của Mặt trời vào không gian, làm cho mặt đất tăng thêm độ lạnh giá. Mặt khác, nếu vào thời kỳ đó, Trái đất nghiêng ít hơn một chút (ví dụ chỉ nghiêng khoảng 22°) thì mùa hè vốn đã mát mẻ sẽ càng mát mẻ hơn và Trái đất sẽ đi vào thời kỳ băng giá.

Lý thuyết của Milankovitch đã không được chấp nhận ngay tức thời. Song từ hai thập kỷ qua, ngày càng có nhiều bằng chứng khẳng định lý thuyết ấy. Việc phân tích các trầm tích biển cho phép chúng ta tìm lại được khá chính xác khí hậu của quá khứ

và đi ngược dòng thời gian cho đến khoảng 3 triệu năm về trước. Những nghiên cứu địa chất học, ít chính xác hơn, đã đưa chúng ta đến tận 200 triệu năm trước. Những chứng tích địa chất học kể với chúng ta rằng nhiệt độ trung bình của các đại dương trong các mùa hè trước thời kỳ băng giá đều mát mẻ hơn, đúng như Milankovitch đã nghĩ.

Nếu như Mặt trăng không còn nữa?

Ngay cả khi trục quay của Trái đất luôn biết xử sự đúng mực như thế, thì Trái đất cũng đã bị băng xâm chiếm rồi. Vậy thử hỏi điều gì sẽ xảy ra, nếu như trục quay của nó tỏ ra phóng túng hơn? Hỏa tinh, hành tinh láng giềng của chúng ta, là một ví dụ về tính thất thường đó. Hiện nay Hỏa tinh có độ nghiêng là 25,2°. Song trong quá khứ độ nghiêng của nó đã xê dịch khoảng 10°. Khí hậu trên Hỏa tinh chắc chắn đã trải qua nhiều giai đoạn biến đổi ghê gớm. Rất có thể là khi hành tinh này nghiêng nhiều quá về phía Mặt trời, thì mùa hè ở đó sẽ nóng bỏng, làm cho các dòng sông trên đó bị bốc hơi hết, khiến cho nay chỉ còn lại những lòng sông khô cạn, gợi nhớ tới vẻ đẹp duyên dáng ngày xưa.

Tại sao trục quay của “hành tinh đỏ” (Hỏa tinh) lại không ổn định như vậy? Phải chăng nguyên nhân là do nó thiếu một Mặt trăng lớn? Hai vệ tinh của Hỏa tinh, như chúng ta đã biết, là Phobos và Deimos rất nhỏ, chỉ có kích thước bằng cỡ các thiên thạch. Nhưng khi đó có một vấn đề được đặt ra là: liệu Trái đất sẽ ra sao nếu như nó giống như Hỏa tinh, cũng không có một Mặt trăng lớn làm vệ tinh? Để trả lời câu hỏi đó, dĩ nhiên chúng ta không thể làm lại Hệ Mặt trời theo ý muốn chúng ta và còn lâu chúng ta mới có thể cướp đi nguồn cảm hứng của các nhà thơ. Nhưng máy tính đã tới cứu

giúp chúng ta: nhờ nó, chúng ta có thể đóng vai Đấng Sáng tạo và dựng lại lịch sử của Hệ Mặt trời mà không có Mặt trăng. Nhà thiên văn học người Pháp Jacques Laskar [1] thuộc Cơ quan kinh tuyến đặt tại Paris và các đồng nghiệp của ông đã thử làm thí nghiệm đó. Họ đã phát hiện ra rằng nếu không có Mặt trăng thì trục quay của Trái đất sẽ biến đổi rất kỳ cục. Nó có thể đứng thẳng góc với mặt phẳng Hoàng đạo hoặc nằm nghiêng hẳn, sát với mặt phẳng đó (nghiêng 85°). Những biến đổi như thế sẽ diễn ra trong khoảng thời gian chỉ vài triệu năm, tức là rất ngắn, xét trên phương diện địa chất học. Các nhà vật lý cho rằng trục quay của Trái đất lúc đó hoạt động rất hỗn độn. Sự hỗn độn đó (chúng ta sẽ khảo sát các hiện tượng hỗn độn với tất cả sự vinh quang của nó ở chương sau) dẫn đến những chuyển đổi khí hậu đầy tai họa đối với sự sống trên Trái đất. Trong những thời kỳ mà Trái đất đứng thẳng, lượng nhiệt của Mặt trời nhận được tại tất cả các điểm trên bề mặt Trái đất sẽ không đổi trong suốt một năm. Trái lại, vào những thời kỳ Trái đất nằm nghiêng hẳn sang một bên như Thiên Vương tinh thì con người trên Trái đất sẽ phải chịu đựng những biến đổi khí hậu cực đoan: trong suốt sáu tháng liền, một nửa Trái đất chìm ngập trong bóng tối băng giá của mùa đông dằng dặc và sáu tháng tiếp sau, chính nửa đó của Trái đất sẽ phải tắm mình trong ánh nắng chói chang, như thiêu như đốt của mùa hè kéo dài tới nửa năm. Với những điều kiện khí hậu cực đoan như thế bất ngờ sập xuống đầu chúng ta - bất ngờ vì chúng ta không thể tiên đoán trước tính tình thất thường của trục quay Trái đất - sự sống khó mà có thể phát triển trên mặt đất được. Và như vậy, bằng cách hãm bớt sự đỏng đảnh của Trái đất, Mặt trăng đã cho phép con người xuất hiện trên hành tinh này.

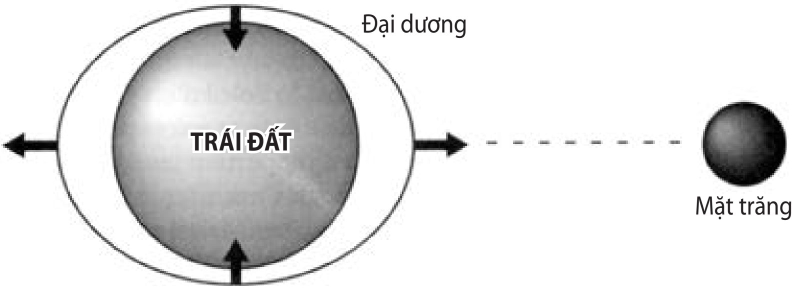
1. Xem chú thích trang 61

Lại một lần nữa, chúng ta cần phải đánh giá được ở đây vai trò cơ bản của cái ngẫu nhiên trong việc nhào nặn nên thực tại. Một cú va chạm tình cờ của một thiên thạch với Trái đất đã tạo ra Mặt trăng và nhờ đó mà sự sống xuất hiện.

Mặt Trăng làm cho nước các đại dương dâng lên

Một nhóm trẻ em đang chơi bóng trên bãi biển. Những đứa trẻ khác lại thích chơi xây dựng các lâu đài bằng cát. Trời bắt đầu tối. Những người đi tắm biển sắp xếp các đồ đạc của họ và vội vã ra về. Bãi biển mỗi lúc một thêm vắng vẻ. Nước biển dâng cao. Các đợt sóng tràn vào bờ làm cho các tòa lâu đài cát đổ nhào. Bãi chơi của trẻ nhỏ bị ngập nước. Thi thoảng những đợt sóng mạnh xô vào tận chân ghế ngồi của những người canh bãi biển, giờ đây đã hoang vắng. Mặt trăng từ từ mọc lên và dường như nó lơ lửng bay trên đường chân trời. Ánh sáng êm dịu của nó làm cho các đợt sóng lóng lánh ánh vàng. Cảm giác thật kỳ lạ khi nghĩ rằng chính vành trăng đầy đặn, tưởng như rất mong manh dễ vỡ thành từng mảnh trong màn đêm ấy, lại là cái đang làm cho cả khối nước dâng cao ngập cả dải bờ biển dài và lật đổ các lâu đài cát của trẻ nhỏ.

Thực tế, đúng Mặt trăng là nguồn gốc gây ra thủy triều. Thủy triều lên xuống là hậu quả của lực hấp dẫn do Mặt trăng tác dụng lên hai vùng đối chân nhau trên Trái đất. Thủy triều lên cao ở nơi Mặt trăng gần Trái đất nhất, ở đó lực hấp dẫn của Mặt trăng mạnh nhất, kéo nước đại dương lên. Nhưng điều nghịch lý là ở chỗ: phía bên kia của Trái đất, những nơi ở xa Mặt trăng nhất (H.12), thủy triều cũng dâng cao, mặc dù ở đó lực hấp dẫn của Mặt trăng yếu nhất và do đó tác động đến nước nhỏ hơn so với các vùng khác, khiến cho nước ở đó phồng lên và kết quả là thủy triều dâng cao.



Hình 12. *Mặt trăng là nguyên nhân gây ra thủy triều trên Trái đất*. Các lực hấp dẫn do Mặt trăng tác dụng lên Trái đất làm biến dạng bề mặt các đại dương, làm cho mức nước dâng cao (tương ứng với *triều cường*) tại những nơi nằm trên hướng Trái đất - Mặt trăng và mực nước hạ xuống (tương ứng với *triều nhược*) tại những nơi vuông góc với hướng đó. Do triều cường không chỉ xuất hiện ở những nơi gần Mặt trăng nhất, mà cả ở phía đối diện của Trái đất, cho nên hai triều cường (hay triều nhược) liên tiếp ở một nơi nào đó trên Trái đất xảy ra cách nhau 12,5 giờ (khoảng thời gian này không chính xác bằng 12 giờ là vì Mặt trăng cũng còn chuyển động xung quanh Trái đất nữa). Mặt trời cũng tác dụng lực thủy triều lên các đại dương trên Trái đất. Mặc dù có khối lượng rất lớn so với Mặt trăng, nhưng do Mặt trời ở xa Trái đất hơn Mặt trăng rất nhiều nên tác dụng của lực thủy triều của Mặt trời chỉ bằng một nửa lực thủy triều của Mặt trăng.

Do vậy ở một vùng nào đó trên Trái đất, mỗi ngày có hai lần triều cường, cách nhau khoảng 12 giờ. Đợt thứ nhất khi Mặt trăng ở gần Trái đất nhất; đợt thứ hai xảy ra khi Trái đất quay được nửa vòng, khiến cho nơi gần Mặt trăng nhất trước đó trở thành nơi xa nhất[1].

Nếu Mặt trăng đã làm cho nước các đại dương dâng lên thì Mặt trời cũng không kém. Newton đã dạy chúng ta rằng: lực thủy triều do một vì sao tác động đến, tỷ lệ thuận với khối lượng của ngôi

1. Thực tế khoảng thời gian này không chính xác là 12 giờ mà là 12,5 giờ, vì Mặt trăng không bất động mà nhúc nhích đôi chút trên quỹ đạo của nó trong khoảng thời gian ấy.

sao đó và tỷ lệ nghịch với lập phương khoảng cách tới nó. Mặt trời lớn hơn rất nhiều so với Mặt trăng, khối lượng của nó gấp 27 triệu lần khối lượng Mặt trăng, song nó cũng ở rất xa: khoảng cách giữa Mặt trời và Trái đất dài gấp 389 lần khoảng cách giữa Mặt trăng và Trái đất. Chung quy lại khả năng của Mặt trời làm dâng nước biển lên chỉ bằng một nửa khả năng của Mặt trăng. Tùy theo vị trí tương ứng của cặp Mặt trời - Mặt trăng đối với Trái đất, mà Mặt trời có thể tăng cường hoặc cản trở tác động của Mặt trăng. Nhưng chính các vị trí tương ứng này lại xác định các pha của Mặt trăng, do đó biên độ (hay độ cao) của thủy triều luôn đi đôi với diện mạo Mặt trăng. Cụ thể là lúc trăng non hay lúc trăng tròn, Mặt trời và Mặt trăng đều ở vị trí thẳng hàng với Trái đất, nên khả năng làm dâng nước đại dương lên cao của chúng tăng cường cho nhau, và thủy triều có biên độ lớn. Sóng biển dâng lên rất cao, tràn vào sân chơi của trẻ nhỏ trên bãi cát, và làm sụp đổ các "lâu đài" cát của chúng. Trái lại, trong những ngày thượng huyền và hạ huyền, Mặt trời và Mặt trăng đều đứng ở vị trí thẳng góc với Trái đất, lúc đó Mặt trời sẽ làm giảm đi một nửa khả năng làm dâng nước đại dương của Mặt trăng, và biên độ của thủy triều bị thu nhỏ xuống. Những đợt sóng yếu lúc đó không thể bén mảng tới phần lớn sân chơi của trẻ nhỏ trên bãi biển, các tòa lâu đài bằng cát của các em cũng không lo bị sụp đổ nữa.

Mặt trăng có một mặt bí hiểm

Mặt trăng xưa nay hay làm ra vẻ bí mật. Một nửa bề mặt của nó luôn luôn bị che giấu, không một phút nào hé lộ. Đối với con người trên Trái đất, Mặt trăng chỉ để lộ một phía bề mặt của nó mà thôi (xem ảnh 4 của tập ảnh mầu). Tuy nhiên, vệ tinh này không đứng

yên: nó tự quay quanh mình, đồng thời lại chu du trọn một tháng vòng quanh Trái đất. Vậy thì làm thế nào để nó có thể vừa quay lại vừa giấu được nửa bề mặt của mình? Mặt trăng đã thực hiện thành công trò ảo thuật này bằng cách đồng bộ hóa chuyển động quay quanh nó với chuyển động trên quỹ đạo quay quanh Trái đất. Bởi vì Mặt trăng mất cùng một khoảng thời gian (29,5 ngày) để đồng thời thực hiện trọn vẹn hai chuyển động quay (quay quanh mình và quay quanh Trái đất) nên nó luôn phô ra chỉ một mặt mà thôi. Để tin vào điều này, ta hãy thử làm một thí nghiệm sau: đặt một người ngồi trên ghế giữa phòng, rồi bạn đi vòng quanh chiếc ghế và luôn đảm bảo để vừa đi vừa nhìn vào mắt người ngồi ghế đồng thời không được quay lưng lại anh ta. Bạn chỉ có thể làm được việc đó nếu như cùng một lúc bạn phải quay quanh mình sao cho khi quay trọn được một vòng thì đồng thời bạn cũng đi đúng được một vòng quanh chiếc ghế.

Việc thực hiện đồng bộ hai chuyển động một cách hoàn hảo như vậy không phải là chuyện ngẫu nhiên. Thực vậy, nếu Mặt trăng làm cho nước các đại dương dâng lên, thì Trái đất cũng tác dụng các lực thủy triều lên Mặt trăng. Hành tinh của chúng ta cũng ăn miếng trả miếng với Mặt trăng nhưng với một tỷ lệ lớn hơn vì Trái đất chúng ta nặng hơn vệ tinh của nó tới 80 lần. Do trên Mặt trăng không có biển, nên lực thủy triều của Trái đất có tác dụng làm nâng bề mặt bằng đá của Mặt trăng lên, và điều đó khiến cho Mặt trăng không có dạng hình cầu hoàn hảo. Đường kính của Mặt trăng ở đường xích đạo lớn hơn đường kính trung bình (3.476km) của nó từ 2 đến 3km. Sự biến dạng thành khối cầu hơi bị dẹt này đã tác dụng một sức căng ghê gớm lên lớp vỏ bằng đá của Mặt trăng. Do vậy mà trên Mặt trăng luôn xảy ra các vụ động đất để giải tỏa toàn bộ ứng suất đã được tích tụ đó. Những dụng cụ

đo địa chấn do các nhà du hành vũ trụ Mỹ để lại trên Mặt trăng đã ghi được các vụ động đất có cường độ lớn nhất vào các thời điểm trăng non hoặc trăng tròn. Đó là các thời điểm mà Trái đất, Mặt trăng và Mặt trời nằm thẳng hàng với nhau và đó cũng là lúc các lực thủy triều của Mặt trời làm tăng thêm các lực của Trái đất tác dụng lên Mặt trăng. Đồng thời với việc các lực ấy làm nâng và biến dạng bề mặt của Mặt trăng, các lực thủy triều của Trái đất tác dụng lên Mặt trăng còn làm cho chuyển động tự quay của nó chậm lại và buộc nó phải đồng bộ chuyển động tự quay của nó với chuyển động theo quỹ đạo quanh Trái đất. Do vậy, Mặt trăng chỉ để lộ cho người Trái đất thấy được nửa mặt của nó mà thôi.

Để thỏa mãn sự tò mò của mình, vào những năm 1960, con người đã phóng vào không gian những con tàu thăm dò có tên là *Lunar Orbiter* nhằm vén bức màn bí mật của nửa sau Mặt trăng còn bị che khuất. Kết quả rất đáng ngạc nhiên: những gì được phát hiện không giống với cảnh tượng Mặt trăng nhìn thấy được từ Trái đất, tức là không thấy những hố hình miệng núi lửa bị phân cách bởi các biển nham thạch đã khô cứng. Trái lại, nửa phía sau của Mặt trăng phô bày một cảnh tượng ngổn ngang các hố hình miệng núi lửa, bằng chứng câm lặng của thời kỳ Mặt trăng bị các thiên thạch va đập vào rất dữ dội, khi mà Hệ Mặt trời còn đang hình thành. Có một điều bí mật chưa được làm sáng tỏ là tại sao không thấy các biển nham thạch đã khô cứng (như ta thấy ở phía trước của Mặt trăng). Các nhà thiên văn học cho rằng: vỏ Mặt trăng ở phía bị che khuất có thể dày hơn mặt trước, dày đến mức các thiên thạch va vào nó đã bị nát vụn chứ không thể xuyên qua, khiến cho các nham thạch ở bên trong Mặt trăng lúc mới hình thành không trào ra bề mặt của nó được.

Con ốc anh vũ và Mặt trăng

Các lực thủy triều do Trái đất tác dụng lên Mặt trăng không chỉ làm biến dạng bề mặt của nó, mà còn làm cho chuyển động của nó quay quanh Trái đất chậm lại. Bằng chứng sống của lực hãm này là một sinh vật biển có tên rất hay là "ốc anh vũ" (*nautile*). Loài ốc này nổi tiếng bởi đường nét thanh nhã trên vỏ của nó với đường xoắn ốc rất hoàn hảo. Vỏ ốc được chia thành nhiều khoang với các vách ngăn. Con ốc không chiếm chỗ trong toàn bộ vỏ ốc mà chỉ ở khoang ngoài cùng. Vỏ ốc phát triển theo một cách rất đặc biệt, giống như người thợ nề cứ mỗi ngày lại xây thêm một hàng gạch, con ốc cứ mỗi ngày lại có thêm một lớp mới ở vỏ và thông báo về điều đó bằng một vân mới trên vỏ của nó. Sau đó, vào cuối mỗi tháng, khi Mặt trăng đã quay trọn một vòng quanh Trái đất và con ốc đã có thêm ba mươi vân, nó lại rời khoang ở cũ để chuyển sang khoang mới ngăn cách với khoang cũ bởi một vách ngăn. Như vậy, có thể nói vỏ ốc đã mang trên mình nó một thứ giống như cuốn lịch ghi chép các niên đại của quá khứ cổ xưa, cho phép chúng ta lần lại quá trình tiến hóa của chuyển động Mặt trăng xung quanh Trái đất, theo dòng thời gian. Khi nghiên cứu các tổ tiên xa xưa của loài ốc anh vũ dưới dạng hóa thạch, người ta thấy một điều rất kỳ lạ: số các vân trên vỏ ốc giữa hai khoang kế cận nhau giảm dần theo tuổi tác của các hóa thạch đó. Thay vì là 30 vân như người ta tìm thấy trên vỏ của loài ốc anh vũ hiện đang sống sâu dưới nước ở vùng Nam Thái Bình Dương, người ta chỉ đếm được 17 vân trên các con ốc hóa thạch từ cách đây 2,8 tỷ năm. Như vậy, các con ốc hóa thạch từ thời xa xưa cho chúng ta thấy rằng Mặt trăng trong quá khứ quay quanh Trái đất nhanh hơn bây giờ rất nhiều. Thay vì 29,5 ngày như hiện nay, nó chỉ mất 29,1 ngày cách đây 45 triệu năm và chỉ mất 17 ngày cách đây 2,8 tỷ năm!

Việc làm chậm lại chuyển động của Mặt trăng quay quanh Trái đất được thể hiện bằng việc nới rộng dần quỹ đạo quay quanh Trái đất của Mặt trăng, làm cho vệ tinh này ngày càng xa dần Trái đất. Những chùm tia laser được phóng lên từ Trái đất, rồi phản xạ trở lại từ các gương do các nhà du hành vũ trụ để lại trên Mặt trăng, đã xác nhận hiện tượng này. Thực vậy, các chùm laser cho phép chúng ta đo được khoảng cách Trái đất - Mặt trăng với độ chính xác rất cao: chỉ cần nhân thời gian đi về của nó với vận tốc ánh sáng rồi chia cho 2. Các chùm tia laser nói với chúng ta rằng Mặt trăng lùi xa dần Trái đất theo đường xoáy trôn ốc, cứ mỗi năm xa thêm 3,5 cm. Điều này có nghĩa là nếu đi ngược dòng thời gian trở về trước thì Mặt trăng ở gần Trái đất hơn nhiều khi nó mới hình thành.

Trong khi xa dần hành tinh của chúng ta, Mặt trăng trông càng nhỏ dần, kích thước góc của nó tỷ lệ nghịch với khoảng cách từ nó đến Trái đất. Hiện nay kích thước góc của Mặt trăng và Mặt trời, do một sự trùng hợp kỳ lạ, xấp xỉ bằng nhau (đều gần bằng $0{,}5^o$). Điều này cho phép chúng ta được chứng kiến cảnh tượng thần diệu của nhật thực toàn phần, khi mà Mặt trăng nằm giữa Mặt trời và Trái đất, do đó chắn toàn bộ ánh sáng Mặt trời chiếu tới Trái đất. Trong tương lai, con cháu, chút chít, chót chét của chúng ta sẽ không còn được rung động trước cảnh tượng nhật thực toàn phần, làm cho màn đêm buông xuống ngay giữa ban ngày, bởi vì Mặt trăng ngày càng lùi xa Trái đất sẽ có kích thước góc nhỏ đi nhiều, không còn đủ lớn để che khuất toàn bộ Mặt trời nữa. Hậu duệ của chúng ta sẽ chỉ còn thấy được nhật thực một phần mà thôi.

Ngày dài ra

Nếu Trái đất làm cho chuyển động của Mặt trăng trên quỹ đạo của nó chậm lại, thì Mặt trăng cũng trả đũa bằng cách làm chậm

bớt chuyển động tự quay quanh mình của Trái đất. Và như vậy kể từ khi hành tinh của chúng ta ra đời, ngày cứ dần dần kéo dài ra. Mặt trăng làm chậm chuyển động quay của Trái đất thông qua thủy triều do chính nó gây ra. Sự lên xuống của thủy triều làm cho khối lượng nước của các đại dương dâng lên và chà xát vào vỏ Trái đất. Nói chà xát tức là nói tới ma sát, cũng tức là nói tới nhiệt tỏa ra và mất năng lượng. Trái đất mất năng lượng quay, sẽ quay chậm hơn và thời gian cần thiết để quay một vòng quanh mình nó sẽ kéo dài ra. Nhưng những con người siêu năng động, lúc nào cũng phàn nàn thiếu thời gian để thực hiện hết các công việc của mình, cũng chẳng vì thế mà thỏa mãn. Bởi lẽ, đúng là ngày có dài ra thật nhưng với tốc độ rất chậm. Một người sống trăm tuổi sẽ thấy rằng khoảng thời gian của ngày ông ta sinh ra và khoảng thời gian của ngày ông ta qua đời chỉ sai khác nhau có 0,002 giây. Song đối với thang thời gian địa chất học, không phải được đo bằng trăm năm mà bằng tỷ năm, thì hiệu ứng tích tụ của việc làm chậm chuyển động tự quay của Trái đất là rất đáng kể. Chính vì vậy mà cách đây 350 triệu năm, một ngày của Trái đất chỉ kéo dài có 22 giờ. Còn vài tỷ năm trước thì Trái đất quay bốn lần nhanh hơn hiện nay. Mặt trời cũng quay nhanh hơn khoảng 3 giờ kể từ lúc mọc đến lúc lặn. Đối với các hậu duệ sau này của chúng ta, chúng cũng sẽ thấy ngày dần dần dài ra. Các tháng cũng vậy, vì Mặt trăng càng ngày càng xa Trái đất. Quỹ đạo của nó cũng nới rộng ra và nó phải mất nhiều thì giờ hơn để quay trọn một vòng xung quanh Trái đất. Ngày dài ra tương đối nhanh hơn tháng, nó sẽ đuổi kịp tháng trong khoảng 10 tỷ năm; tức là 5,5 tỷ năm sau khi Mặt trời cạn kiệt chất đốt hyđrô của nó. Ngày và tháng khi đó sẽ cùng dài bằng 47 ngày hiện nay. Lúc đó Mặt trăng sẽ ngừng, không lùi xa Trái đất nữa. Thời gian cần thiết để Trái đất quay trọn một vòng quanh mình nó đúng

bằng thời gian cần thiết để Mặt trăng quay hết một vòng quanh Trái đất. Tình hình đó sẽ tương tự như tình hình hiện nay của Mặt trăng. Thời gian nó quay một vòng quanh mình nó đúng bằng thời gian nó quay một vòng quanh Trái đất. Mặt trăng hiện nay chỉ phô một nửa bề mặt của nó cho người Trái đất, và cũng đúng như thế, Trái đất sau 10 tỷ năm nữa cũng sẽ phô ra cho Mặt trăng chỉ một nửa bề mặt của mình.

Tiểu hành tinh sát thủ và loài khủng long

Mỗi năm bầu trời lại chứng kiến những chuyến bay của các đàn chim di trú đi theo một lộ trình vô hình, bí hiểm nhưng không bao giờ thay đổi; ánh trăng dịu dàng tràn ngập những làng quê đang yên ngủ, những đợt sóng biển xô vào bờ tàn phá các lâu đài bằng cát mà các em nhỏ đã dựng nên với biết bao trìu mến, sự ổn định của trục quay Trái đất cho phép sự sống xuất hiện, tất cả những sự kiện đó, như chúng ta đã biết, đều bắt nguồn từ các biến cố đã từng xảy ra cách đây 4,6 tỷ năm, khi mà các thiên thạch lớn và nặng mà người ta gọi là các tiểu hành tinh - nhan nhản trong Hệ Mặt trời ở buổi sơ khai - điên cuồng va đập vào Trái đất còn non trẻ của chúng ta. Những va chạm này, như chúng ta đã từng nhận xét, là các sự cố ngẫu nhiên và tình cờ. Chỉ cần một sự thay đổi rất nhỏ của quỹ đạo thì các sự kiện đó đã không xảy ra. Và lúc đó thì xin vĩnh biệt Mặt trăng, vĩnh biệt thủy triều và các mùa! Song sự xâm nhập của lịch sử không dừng lại ở đó. Khoa học hiện đại cho chúng ta biết rằng sự xuất hiện của chính loài người trên Trái đất cũng là nhờ một sự kiện ngẫu nhiên.

Cách đây 165 triệu năm, loài khủng long còn ngự trị như những chủ nhân của Trái đất (H. 13). Những loài có vú, tổ tiên trực tiếp

của chúng ta, hồi đó đã sống lay lắt như những động vật ăn đêm nhỏ bé, ẩn nấp trong các xó xỉnh, các kẽ hở trên mặt đất để lẩn tránh thói háu đói của loài thằn lằn bạo chúa này và lũ quỷ dữ ăn thịt khác. Nhưng rồi một sự kiện xảy ra và đã làm thay đổi tất cả. Vào khoảng 65 triệu năm trước đây, giữa kỷ Creta và kỷ Đệ tam, một tiểu hành tinh có đường kính khoảng từ 6-14 km, và khối lượng khoảng 10.000 tỷ tấn bỗng xuất hiện trên bầu trời. Lớn hơn một trái núi và lao vun vút trong không gian với vận tốc 25km/s, tức là nhanh hơn cả một viên đạn tới 100 lần, thiên thạch này đã đâm xuống đại dương ở chỗ gần vịnh Mêhicô, để rồi vỡ tan tành sau một giây, khi nó đụng vào vỏ Trái đất. Cú va chạm kinh khủng này có sức nổ bằng một tỷ mêga tấn thuốc nổ TNT, tức là bằng 5 tỷ lần công suất của quả bom nguyên tử ném xuống Hiroshima, và bằng một triệu lần công suất của tất cả các kho vũ khí hạt nhân của Trái đất cộng lại. Cả hành tinh rung lên dưới sức mạnh khủng khiếp của cú va đập có tầm cỡ vũ trụ đó. Một trận sóng thần cao hàng trăm mét đổ vào vùng Caribê, tàn phá Cuba, Florida và vùng bờ biển Mêhicô. Cú va đập làm bắn vào không trung hơn một trăm nghìn tỷ tấn đá bốc hơi, và để lại bề mặt Trái đất một vết thương khổng lồ có đường kính 180km và độ sâu trên 20km. Đá bốc hơi lạnh đi ở tầng cao khí quyển rồi ngưng tụ lại thành hàng trăm triệu viên sỏi nhỏ. Và khoảng một giờ sau đó, một trận mưa đá sỏi đổ ập xuống vỏ Trái đất. Sự cọ xát với bầu khí quyển nung nóng các viên sỏi tới mức bầu không khí trở nên nóng đỏ. Khí nitơ trong khí quyển bắt đầu hóa hợp với khí oxy để tạo thành axit nitric. Rồi một trận mưa axit đổ xuống. Các đám cháy bắt đầu tàn phá các khu rừng và lửa lan đi rất nhanh biến thành đám cháy có quy mô hành tinh. Phần lớn đá văng ra rồi rơi xuống cạnh vết thương hình miệng núi lửa, nhưng khoảng 1% số đá đó còn lơ lửng trên không

trung hàng tháng dưới dạng bụi cát rất mịn. Gió có tác dụng rải đều số bụi này quanh địa cầu và cuối cùng, tạo thành một dải mây đen và đục khổng lồ trùm lên toàn bộ Trái đất, chắn mất toàn bộ ánh sáng và hơi nóng của Mặt trời. Cả Trái đất chìm trong một đêm đông lạnh giá kéo dài nhiều năm và nhiệt độ của các châu lục đều tụt xuống dưới không độ. Sự quang hợp từng nuôi dưỡng cây cối bây giờ bị đứt đoạn. Hậu quả của cảnh đêm tối sâu thẳm và của các trận mưa axit đối với hệ động vật và thực vật thật là một thảm họa: 30 đến 80% các loài thực vật bỗng biến mất. Sự biến mất của các cây cối kéo theo sự tàn sát hai phần ba các loài sinh vật, trong đó có cả loài khủng long, do thiếu thức ăn.



Hình 13. *Cái chết của loài khủng long*. Loàl khủng long sinh sôi trên Trái đất khoảng một trăm triệu năm trước,. Sau đó, vào cuối kỷ Crêta, tức là khoảng 65 triệu năm trước, chúng đồng thời biến mất cùng với hai phần ba các loài khác sinh sống trên Trái đất. Các nhà khoa học cho rằng sở dĩ có sự tàn sát ghê gớm đó là do một thiên thạch lớn, nặng cỡ 10.000 tỷ tấn và có kích thước cỡ 14km đã đâm vào và bị vỡ nát ở bán đảo Yucatan trong vịnh Mêhicô.

Song sự bất hạnh của kẻ này lại làm nên hạnh phúc của kẻ khác. Việc tiêu diệt loài khủng long là một món quà mà Trời ban tặng cho tổ tiên thuộc loài có vú của chúng ta. Các sinh vật này nhờ tự nuôi sống bằng các hạt bị chôn vùi dưới đất và bằng các hạt hồ đào mà sống sót trong cuộc Đại tàn sát đó. Lúc ấy phần lớn các loài thú săn chuyên ăn thịt chúng không còn nữa, nên các loài có vú bắt đầu sinh sôi nảy nở và phát triển thành nhiều họ. Trong vòng vài chục triệu năm - một khoảng thời gian ngắn ngủi theo thang thời gian địa chất học - các loài chó, mèo, ngựa, cá voi xuất hiện, đặc biệt là họ khỉ. Và họ này đã dẫn đến sự ra đời của người *Homo sapien*. Như vậy là nếu không có một tiểu hành tinh trên đường đi của nó đã va vào Trái đất, cách đây 65 triệu năm, thì loài khủng long sẽ vẫn còn là chủ nhân của thế giới, loài có vú vẫn còn là những sinh linh bé nhỏ ăn đêm sống ẩn náu tại các xó xỉnh. Và chúng ta, loài người, đã không thể xuất hiện. Từ đó có thể thấy thêm một lần nữa rằng cái ngẫu nhiên đã làm ra thực tại một cách sâu sắc như thế nào.

Một kim loại ngoài Trái đất

Kịch bản về một "tiểu hành tinh sát thủ" hiện đang là một giả thuyết sáng giá nhất để giải thích sự tuyệt chủng đột ngột của loài khủng long. Thực ra, người ta cũng còn đưa ra cả những nguyên nhân khác. Ví như một thời kỳ có các núi lửa phun triền miên đã phóng vào bầu khí quyển không biết bao nhiêu là khói, bụi, bồ hóng làm cho ánh sáng Mặt trời bị che chắn không thể lọt xuống Trái đất được, kết cục đưa tới những hậu quả giống hệt những gì mà hiện tượng "thiên thạch sát thủ" đã gây ra: một đêm đông băng giá đã sập xuống hành tinh của chúng ta và gây ra cuộc Đại

tàn sát. Cũng có một giả thuyết nói đến vụ nổ của một sao siêu mới, báo hiệu cái chết đầy tai biến của một ngôi sao nặng ở gần Hệ Mặt trời, vụ nổ đã phóng ra những bức xạ và những hạt độc hại đối với sức khỏe của loài khủng long. Song cả hai giả thuyết đó đều không nhận được sự nhất trí của cộng đồng khoa học vì thiếu bằng chứng!

Trái lại, đã có nhiều khám phá quan trọng làm chỗ dựa cho giả thuyết về "tiểu hành tinh sát thủ". Để tìm ra thủ phạm gây ra cái chết của loài khủng long, nhà vật lý Mỹ Luis Alvarez (1911-1988) và con trai ông là nhà địa chất học Walter cùng với các đồng nghiệp tại trường Đại học Berkeley đã đi ngược dòng thời gian, tìm đến tận thời kỳ tận số của loài khủng long, tức 65 triệu năm về trước, bằng cách nghiên cứu những địa tầng địa chất học của Trái đất. Thực tế là lịch sử Trái đất đã được ghi lại theo niên đại qua các lớp trầm tích kế tiếp nhau ở bề mặt Trái đất. Những lớp trên cùng cho chúng ta biết lịch sử mới đây nhất, trong khi đó những lớp ở sâu nhất cho chúng ta biết về quá khứ xa xưa nhất của nó. Nhóm làm việc của Luis Alvarez nhận thấy rằng địa tầng đất sét tương ứng với thời kỳ cuối của loài khủng long, tức là giữa hai kỷ - kỷ Crét và kỷ Đệ tam - có chứa những lớp mỏng (chỉ vài centimet) bụi và các hạt khoáng rất đặt biệt, chỉ có thể được tạo thành trong một vụ nổ cực lớn. Mặt khác, lớp mỏng này còn chứa một kim loại hiếm tên là iridi vốn không có trong vỏ Trái đất, nhưng lại tồn tại trong các tiểu hành tinh và các sao chổi. Kim loại hiếm này không chỉ được tìm thấy ở gần nơi xẩy ra va chạm mà còn tìm thấy trên khắp hành tinh. Như vậy, các lớp trầm tích này phải có nguồn gốc từ bên ngoài Trái đất, và biến cố tạo ra chúng đã có hậu quả trên quy mô toàn cầu. Từ đó mà nảy sinh ý tưởng về một "tiểu hành tinh sát thủ" đã đến va vào Trái đất và gây ra một vụ nổ cực lớn.

Cũng có một phát hiện khác rất quan trọng, phá tan bức màn bí mật mà từ lâu chưa ai giải thích được: vấn đề điểm va chạm đó xảy ra ở đâu? Một tiểu hành tinh to lớn nhường ấy va đập vào Trái đất với một lực như thế ắt phải để lại một hố hình miệng núi lửa, ít ra cũng phải có đường kính dài tới 180 km. Người ta cho rằng đã tìm ra chỗ va đập này tại vùng bán đảo Yucatan, Mêhicô, nằm ở khoảng giữa vịnh Mêhicô và biển Ăngti. Tại đó, người ta đã phát hiện một hình miệng núi lửa cực lớn, đã bị vùi lấp một nửa, có tên là Chicxulub.

Liệu bầu trời có sập xuống đầu chúng ta?

Sự tuyệt chủng của loài khủng long nhắc nhở chúng ta rằng các thiên thạch từ trên trời vẫn còn có thể giáng xuống chúng ta nhiều điều tồi tệ bất ngờ. Cái tai họa đã từng giáng xuống đầu loài khủng long, liệu có thể xảy ra với chúng ta? Hay nói một cách dân dã: liệu bầu trời có đổ sập xuống đầu chúng ta? Dưới ánh sáng của những kiến thức khoa học mới, liệu những điều lo sợ đó có căn cứ hay không? Chúng ta hãy nghiên cứu cặn kẽ vấn đề này.

Có hai mối đe dọa lớn có thể đến từ bầu trời: đó là các tiểu hành tinh và các sao chổi. Các tiểu hành tinh là những khối đá lớn thường bay theo một quỹ đạo xung quanh Mặt trời. Quỹ đạo này nằm trong khoảng giữa Hỏa tinh và Mộc tinh trong cái mà các nhà thiên văn gọi là Vành đai Tiểu hành tinh, có khoảng cách tới Mặt trời gấp từ 2 đến 3,5 lần khoảng cách Trái đất - Mặt trời. Trừ 3 tiểu hành tinh có đường kính vượt quá 300 km, và khoảng vài trăm có đường kính trên 100 km, còn lại đại đa số các tiểu hành tinh (với số lượng khoảng vài trăm nghìn) chỉ có đường kính dưới 1km. Nếu tập hợp tất cả các tiểu hành tinh có trong vành đai ấy lại thành

một khối thì đường kính khối đó cũng chỉ bằng 1.500 km, tức là nhỏ hơn đường kính Mặt trăng 2,3 lần.

Do vậy, ít có khả năng là Vành đai Tiểu hành tinh được tạo thành bởi những mảnh vụn của một hành tinh bị nổ. Giả thuyết cho rằng Vành đai này được tạo thành bởi những mảnh vụn còn lại từ thời kỳ Mặt trời đang hình thành có nhiều khả năng đúng hơn. Nhìn chung, các tiểu hành tinh này vẫn ngoan ngoãn bay theo quỹ đạo nằm trong Vành đai và chúng không có gì làm cho ta phải lo lắng cả. Song đôi khi, các hiện tượng hỗn độn (sẽ được đề cập chi tiết hơn ở chương sau) làm cho các tiểu hành tinh này bứt ra khỏi quỹ đạo



A

B





C

Hình 14. *Sao chổi*. Thi thoảng các sao chổi lại tới thăm vùng bên trong của Hệ Mặt trời, cống hiến cho người Trái đất chúng ta những cảnh tượng hết sức ngoạn mục. Sao chổi là một thiên thể bằng đá dài khoảng vài km phủ đầy băng. Người ta có thể so sánh nó với một quả cầu tuyết khổng lồ có nhân rắn và rất nhiều bụi. Có nguồn gốc ở rất xa Hệ Mặt trời (đám mây Oort) hoặc gần hơn (vành đai Kuiper), sao chổi được phóng theo quỹ đạo hình hyperbol hoặc parabol bao quanh Mặt trời bởi cú hích bằng lực hấp dẫn của một ngôi sao ở gần đó. Khi tới gần Mặt trời, băng của sao chổi tan và bốc hơi và đặc biệt là vật chất khí (chủ yếu là hơi nước với một số phần trăm nhỏ khí cacbonic và monoxyt cacbon) trộn lẫn với các hạt bụi bị đẩy bởi gió ánh sáng và các hạt do Mặt trời phát ra, tạo thành đầu và đuôI sao chổi hết sức lộng lẫy. Càng tiến gần tới Mặt trời, sao chổi trông càng sáng. Thực vậy, bức ảnh in thạch (A) cho ta thấy rõ điều đó. Đây là bức ảnh chụp sao chổi Donati ngay trên tòa nhà Conciergerie ở Paris ngày 5 tháng 10 năm 1958, sao chổi này phát triển thành hai đuôi: một đuôi mảnh và thẳng gồm các nguyên tử bị iôn hóa (tức là các nguyên tử mất một số electron và trở nên mang điện dương) và một đuôI tòe hơn hơi bị cong, gồm các nguyên tử khí trung hòa trộn với các hạt bụi.

Trước khi con người hiểu được bản chất của các sao chổi, chúng thường gieo rắc nỗi sợ hãi và mê tín. Các sao chổi khi đó thường được coi như điềm báo trước những tai họa ghê gớm. Bức hí họa (B) được công bố năm 1857 thể hiện cảnh một sao chổi đang phá tan tành Trái đất trong khi Mặt trăng cười khẩy đầy thích thú. Hình (C) là chi tiết một tấm thảm xứ Bayeux được làm trong thời kỳ 1073 - 1083 mô tả sao chổi Halley khi nó bay qua vào năm 1066 trong thời kỳ Huân tước Normandie Guillaume chinh phục nước Anh.

quen thuộc, hất chúng ra khỏi vành đai và đẩy chúng về phía Trái đất. Một vài tiểu hành tinh như thế có quỹ đạo cắt ngang quỹ đạo Trái đất và làm nảy sinh nguy cơ xảy ra va chạm.

Cũng có một mối đe dọa khác là các sao chổi. Đó là những khối đá rất lớn dài tới vài kilomet và phủ đầy tuyết bẩn (H. 14). Nhìn chung các sao chổi này nằm yên tại hai vùng dự trữ, một vùng ở khá xa ngoài Hệ Mặt trời với khoảng cách khoảng 50.000 lần khoảng cách Trái đất - Mặt trời và chứa một số lượng sao chổi rất ấn tượng: 1000 tỷ. Vùng dự trữ sao chổi này được gọi là đám mây Oort (1900-1992), tên của nhà thiên văn học người Hà Lan đã phát hiện ra đám mây đó. Ở gần chúng ta hơn rất nhiều là vùng dự trữ sao chổi thứ hai được gọi là vành đai Kuiper (1905-1973), tên của một nhà thiên văn học Hà Lan khác, người đã tìm ra vành đai đó vào năm 1951. Vành đai này nằm ở chỗ giáp ranh với Hệ Mặt trời, chỉ cách chúng ta một khoảng lớn gấp 30-45 lần khoảng cách Trái đất - Mặt trời. Vùng dự trữ này chứa khoảng 100 triệu sao chổi.

Phần lớn thời gian các sao chổi ngoan ngoãn nằm yên trong vùng dự trữ của chúng. Song đôi khi một đám mây khí và bụi đi qua quấy rối sự yên tĩnh của chúng. Các đám mây này có rất nhiều, nằm rải rác trong các thiên hà hoặc gần một ngôi sao. Lực hấp dẫn của một vài đám mây đó tác động đến một số sao chổi như một cú hích, khiến chúng bắt đầu cuộc viễn du về phía Hệ Mặt trời. Càng đến gần, sức nóng của Mặt trời càng làm bốc hơi các lớp tuyết bẩn ngưng tụ trên các khối đá của sao chổi, tạo ra một cái đuôi dài hàng triệu kilomet trông rất đẹp mắt (xem ảnh 5a của tập ảnh mầu)[1]. Sao

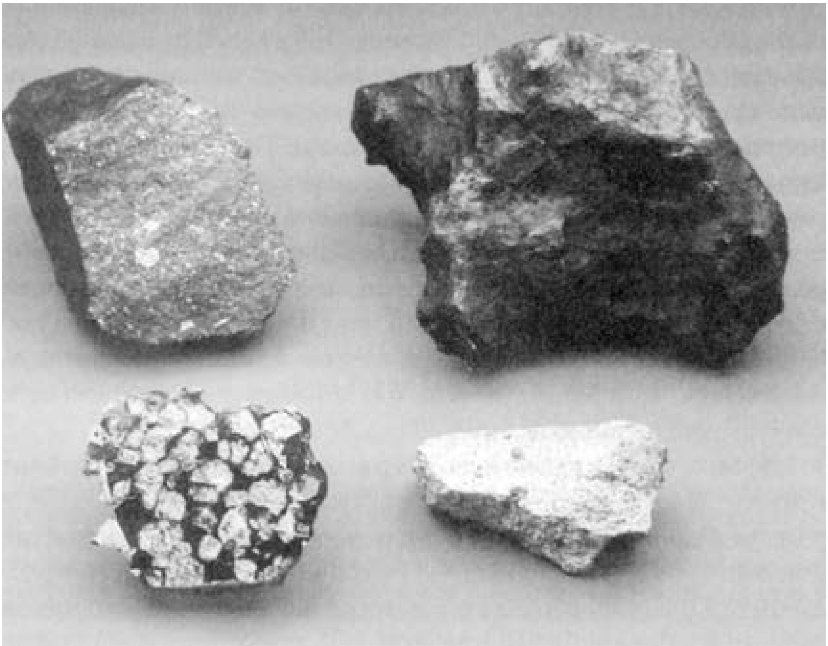
1. Gần đây mới có sự đánh giá vẻ đẹp này. Trước khi hiểu rằng các sao chổi chẳng qua chỉ là những quả cầu tuyết lớn có nhân bằng đá, loài người tưởng rằng các sao chổi chỉ đem đến điềm gở. Người ta run sợ khi sao chổi đến quá gần Trái đất và tưởng rằng cái đuôi dài của chúng chứa đầy khí độc có thể quệt vào bề mặt Trái đất.

chổi Hale-Bopp đã từng làm cho chúng ta choáng ngợp vì vẻ đẹp của nó vào năm 1997 là một ví dụ tuyệt vời. Cho tới nay người ta đã nhận diện được gần 200 sao chổi đều đặn cắt ngang quỹ đạo của Trái đất. Do vậy, một cú va đập chắc không thể loại trừ.

Những tảng đá từ trên trời

Trong quá khứ, Trái đất đã nhiều lần bị các khối đá lớn từ không gian tới đập vào. Thực tế là hằng ngày có tới khoảng 300 tấn đá và bụi rơi xuống mặt đất. Loại mưa đá từ trên trời này đã từng làm cho nhiều thành phố bị bỏ hoang và nhanh chóng biến mất do bị vùi lấp dưới mặt đất. Chúng nằm đó đợi các nhà khảo cổ học đến khai quật để kể lại vẻ đẹp huy hoàng xưa kia của chúng. May mắn thay đối với sức khỏe của chúng ta, hầu hết các vật rơi từ trên trời xuống, khi tới mặt đất, đều chỉ còn bằng hạt cát. Trên thực tế bầu khí quyển của Trái đất đã tạo nên một tấm áo giáp che chở cho chúng ta chống lại tất cả các thiên thạch có khối lượng dưới 100.000 tấn và đường kính dưới vài chục mét. Sự ma sát với không khí, tức lực hãm đối với các thiên thạch khi chúng đi qua bầu khí quyển là hết sức khốc liệt, khốc liệt tới mức thường làm cho chúng vỡ tan thành vô vàn các mảnh nhỏ. Bị đốt nóng rất nhanh, các mảnh nhỏ này bốc cháy và bị thiêu hủy. Chúng vạch một đường lửa trong đêm tối đầy sao, tạo ra một cảnh tượng đẹp tuyệt trần được gọi là sao băng (xem ảnh 5b của tập ảnh mầu). Nếu các thiên thạch này là những mảnh vụn của sao chổi tạo bởi tuyết bẩn, thì chúng sẽ tan biến tương đối nhanh sau khi đi vào bầu khí quyển Trái đất, ở độ cao trên 50km. Trái lại, các thiên thạch bằng đá sẽ chịu nhiệt được lâu hơn và rơi xuống mặt đất. Người ta đã tìm thấy chúng dưới dạng đá bị nung (H. 15). Vào trung tuần tháng 8, trong

những đêm hè đầy sao, bạn có thể nhìn thấy cả một hội sao băng, bởi vì vào thời kỳ này, Trái đất cắt ngang quỹ đạo của một sao chổi khiến cho nhân bằng đá của nó từ từ tan rã. Và chính cái chết thiêu của cả đàn mảnh vụn sao chổi này đã làm thành cảnh tượng ánh sáng tuyệt vời trên không trung.



Hình 15. *Những tảng đá từ trời rơi xuống*. Bức ảnh trên chụp các loại thiên thạch khác nhau. Ở góc trên bên trái là mẩu thiên thạch Allende có chứa cacbon với các bao thể màu trắng. Thiên thạch này đã rơi xuống gần Chihuahua ở Mêhicô vào tháng 2 năm 1969. Dùng phương pháp xác định niên đại bằng phóng xạ người ta biết rằng thiên thạch có 4,6 tỷ năm tuổi, điều này có nghĩa nó là một mẫu vật chất nguyên thủy của các hành tinh. Ảnh ở góc trên bên phải là một mảnh của thiên thạch sắt, thủ phạm đã gây ra hố hình miệng núi lửa ở bang Arizona (Hoa Kỳ). Hai ảnh bên dưới đều là các thiên thạch đá. Thiên thạch bên trái chứa những tinh thể rất đẹp và những bao thể bằng sắt với những màu sắc sáng hơn.

Một thời gian rất dài thế giới khoa học cho rằng ý tưởng về những tảng đá rơi từ trên trời xuống là một ý tưởng quá đỗi ngây thơ. Cho đến tận cuối thế kỷ XVIII, Viện Hàn lâm Khoa học Paris rất đáng kính vẫn còn bác bỏ sự tồn tại của các thiên thạch này. Mãi đến đầu thế kỷ XIX nhà vật lý Pháp Jean-Baptiste Biot (1774-1862) mới chứng minh được nguồn gốc ngoài Trái đất của các tảng đá bị thiêu ấy. Vào năm 1803, có tin đồn rằng một trận mưa đá đã đổ ập xuống làng L'Aigle thuộc tỉnh Orne. Viện Hàn lâm đã cử Biot xuống điều tra tại chỗ. Sau khi đã nghiên cứu hàng trăm mảnh đá nằm rải rác trên một diện tích rộng hàng chục kilomet vuông, đã hỏi han các nông dân trong vùng và đối chiếu những lời chứng, nói ngắn gọn là Biot đã nghiên cứu hiện tượng này với tất cả sự nghiêm túc khoa học cần thiết, ông đã thành công gạt bỏ được thái độ hoài nghi của các đồng nghiệp và thuyết phục họ tin rằng thực sự đã có "những hòn đá từ trên trời rơi xuống".

Những hòn đá xuất hiện từ trên trời này chưa bao giờ làm hại một ai cả. Người ta chưa thấy một trường hợp đá rơi nào làm chết hoặc bị thương một ai đó. Người ta cũng có kể một số trường hợp cực kỳ hãn hữu về một mui xe đậu ngoài đường phố bị lõm, một mái nhà để xe bị phá thủng, hoặc một hòm thư bị đâm xuyên qua. Thật sự chẳng có gì là quan trọng cả. Đây là những "cuộc đụng độ loại một"... Các thiên thạch với kích thước dưới 10 mét đường kính đều bị thiêu hủy khi đi vào bầu khí quyển Trái đất, rất hiếm thấy chúng rơi xuống mặt đất. Mà cho dù có rơi xuống thì chúng cũng chẳng gây ồn ào gì và thiệt hại cũng chẳng quan trọng là bao.

Những vết sẹo của Trái đất

Khoảng 2% các thiên thạch có kích thước giữa 10 và 100 mét. Chúng là nguyên nhân gây ra "những cuộc đụng độ loại hai". May

thay đổi với cuộc sống trên Trái đất, chúng chỉ xuất hiện rất hiếm hoi, vài thế kỷ chúng mới đến thăm Trái đất một lần. Các thiên thạch thuộc loại thứ hai này đều cấu tạo bằng đá hoặc sắt. Một thiên thạch bằng đá đi vào bầu khí quyển với vận tốc cao nhất (khoảng 20km/s) phải chịu một áp lực mạnh tới mức chúng phải vỡ tan ra và bị ép dẹt lại như một miếng kếp, và thường bị nổ tung trước khi rơi tới mặt đất. Sức nổ dữ dội đến nỗi sóng xung kích trong khí quyển thổi bay hết trong một vùng có bán kính nhiều kilômét. Ngược lại, một thiên thạch bằng sắt bền hơn, nó không bị tan thành các mảnh vụn khi đi qua bầu khí quyển của Trái đất. Nó tiếp đất hầu như nguyên vẹn và gây ra nhiều tàn phá lớn. Trái đất hiện còn mang trên mình nó nhiều vết thương do các thiên thạch này gây ra. Trên 150 hố lớn hình miệng núi lửa đã được thống kê. Hầu hết là những hố được tạo ra từ khoảng 200 triệu năm trở lại đây. Điều này không có nghĩa là trước kia không có các khối đá rơi từ trên trời xuống. Thực ra, Trái đất đã luôn luôn bị "oanh tạc" như thế. Tuy nhiên, sự xói mòn do các trận mưa, do các dòng sông và các đại dương gây ra, những vận động kiến tạo sắp xếp lại các mảng lục địa, cùng với những biến đổi do các loài sinh vật làm nên đã có đủ thời gian xóa đi các vết thương và các vết sẹo xa xưa đã có từ hơn 200 triệu năm về trước. Hầu hết các hố hình miệng núi lửa đều nằm ở Bắc Mỹ, Đông Âu và Châu Úc. Không phải là các thiên thạch nói trên có một sự ưa thích gì đặc biệt đối với ba vùng nói trên, mà là do diện tích của chúng rất lớn và về mặt địa chất học chúng rất ổn định, hơn nữa những cuộc tìm kiếm ở đây đã được thực hiện tích cực nhất. Hàng nghìn các hố lớn khác có lẽ còn nằm dưới lòng các đại dương.

Trong số các thiên thạch đã từng đập vào Trái đất, có một thiên thạch đã làm cho các nhà khoa học tốn nhiều giấy mực nhất, đó là

thiên thạch Toungouska rơi xuống vùng rừng Taiga ở Xibêri (Nga), do có một điều bí hiểm đang còn bao trùm lên thiên thạch này. Tại đây, vào buổi sáng ngày 30 tháng 6 năm 1908, một khối đá lớn nặng tới 100.000 tấn với đường kính 50m đã rơi xuống từ bầu khí quyển bên trên con sông Toungouska, trước khi nó bị vỡ tan tành ở độ cao 10km. Sự tan vỡ này kéo theo một tiếng nổ lớn có thể nghe thấy từ xa hàng nghìn kilômét xung quanh. Nó cũng làm tuyệt chủng các bầy hươu và tàn phá tất cả các khu rừng xung quanh trong vòng bán kính 30km. Cư dân ở các làng lân cận đã giật mình thức giấc khi nghe tiếng nổ tưởng như báo hiệu ngày tận thế. Chạy ra phía cửa sổ, họ đã nhìn thấy một khối cầu lửa khổng lồ. Năng lượng phát ra tương đương với 15 tỷ tấn TNT, tức bằng 75 lần công suất của trái bom nguyên tử ném xuống Hiroshima. Những ngày tiếp theo, bầu trời vẫn đỏ rực ánh sáng, với độ sáng mạnh đến mức một người ở cách xa tận Tây Âu vẫn có thể đọc báo trong đêm mà không cần thắp đèn. Hậu quả của nó cũng ngoạn mục không kém gì một vụ núi lửa phun. Bởi vì thiên thạch đã nổ tung trước khi lao xuống mặt đất, cho nên không có hố sâu nào được tạo ra do va đập, cũng không có các mảnh thiên thạch trên mặt đất. Dấu tích duy nhất còn sót lại của sự kiện xảy ra với sức mạnh ghê gớm đó là một khu rừng rộng lớn bị tàn phá, ngổn ngang những thân cây đổ và cháy đen chạy dài mút tầm mắt (H. 16).

Cảnh tượng đáng buồn đó đi đôi với thực tế là không có hố sâu hình miệng núi lửa và lại không có các mảnh vụn thiên thạch đã là đề tài cho những giả thuyết kỳ cục nhất. Một số người cho rằng đấy là nơi hạ cánh của một đĩa bay mà những luồng lửa phóng ra từ động cơ của nó đã làm cháy trụi khu rừng... Song ngày nay giả thuyết về một thiên thạch bị bốc hơi đang được nhiều người chấp nhận nhất. Người ta cho rằng đây không phải là một mảnh vỡ của

sao chổi, bởi vì nếu đúng như vậy, thì nó đã bị bốc hơi ở độ cao 20 km trong bầu khí quyển trước khi rơi xuống mặt đất rồi. Các nhà nghiên cứu đã tìm đến các thân cây quanh vùng Toungouska - những nhân chứng câm của sự kiện lớn này, chúng đang bình phục chậm chạp sau tai họa đã giáng xuống. Thì ra, các vỏ cây còn chứa nhiều hạt cực nhỏ với hàm lượng cao của các nguyên tố đồng, vàng và nickel. Đó cũng chính là những nguyên tố đặc trưng của một thiên thạch. Như vậy "thủ phạm" có thể là một thiên thạch bằng sắt hoặc bằng đá. Thiên thạch bằng sắt bị loại trừ



Hình 16. *Sự kiện Toungouska*. Ngày 30 tháng 6 năm 1908, một vụ nổ ngoạn mục đã xảy ra trong vùng Toungouska ở Xibêri. Vụ nổ lớn tới mức trong vòng bán kính 1000km người ta vẫn còn nghe thấy, đồng thời nó hất lên không trung hàng triệu tấn bụi. Toàn bộ cây cối trong vòng bán kính 30km đều bị hất đổ. Sau tai họa đó hàng chục năm, cánh rừng này vẫn còn chưa hồi phục, như bức ảnh này được chụp 21 năm sau vụ nổ cho thấy. Các nhà khoa học cho rằng vụ nổ này là do sự bùng cháy ở độ cao 10km của một thiên thạch bằng đá có đường kính 50m gây ra.

do sắt không thể bị thiêu hủy vì nó bền và đặc. Nếu là thiên thể sắt thì khi rơi xuống mặt đất, nó sẽ còn nguyên vẹn và có thể đã gây ra những tàn phá khác chứ không chỉ làm cháy một khu rừng và làm mất tăm những bầy hươu. Nhiều dấu hiệu đều hội tụ về hướng có một thiên thạch đá đã đi vào bầu khí quyển dưới một góc 45^o, và nó nổ tung ở độ cao 10km. Vụ nổ này có lẽ đã làm tung lên một đám bụi nặng tới hàng triệu tấn, và đưa chúng lên cao, cao đến mức chúng có thể phản chiếu ánh mặt trời đã lặn xuống dưới đường chân trời. Điều này cắt nghĩa vì sao đã có một vừng đỏ (các



Hình 17. *Hố hình miệng núi lửa ở Arizona*. Đây là một trong số các hố hình miệng núi lửa tạo ra do va chạm với thiên thạch còn được giữ gìn tốt nhất trên Trái đất (sự xói mòn có xu hướng xóa phẳng những hố đó trên mặt đất, trái với trên Mặt trăng và trên Thủy tinh do không có khí quyển và do đó cũng không có mưa và xói mòn). Hố hình miệng núi lửa này có đường kính hơn 1km và đã được tạo ra cách đây 50.000 năm do sự va chạm của một thiên thạch bằng sắt có kích thước khoảng 50m vào Trái đất và giải phóng một năng lượng tương đương với 15 tỷ tấn TNT. (*Ảnh NASA*)

hạt bụi có đặc tính hấp thụ ánh sáng màu xanh và để cho ánh sáng màu đỏ của Mặt trời xuyên qua) cho phép những người Tây Âu có thể đọc được báo trong đêm. Vậy là thiên thạch Toungouska đã gây ra sự sợ hãi nhiều hơn là những tổn hại. Một vụ nổ ngoạn mục đã xảy ra ở một vùng hẻo lánh và nó chỉ để lại dấu tích là những dải rừng bị cháy trụi mà thôi.

Trái lại, một thiên thạch loại hai đã để lại một vết thương dễ thấy hơn nhiều trên vỏ Trái đất là thiên thạch đã gây ra một hố hình miệng núi lửa ở Arizona, Hoa Kỳ (H. 17). Thiên thạch này bằng sắt nên bền hơn thiên thạch đá ở Toungouska rất nhiều. Nó đã đi qua bầu khí quyển Trái đất hầu như nguyên vẹn. Với kích thước khoảng 50m, nó đã bay đến đập vào Trái đất và vỡ tan, cách đây khoảng 50.000 năm, và đã khoét một hố rộng 1,5km đường kính, với công suất tương tự như thiên thạch ở Toungouska. Trái đất đã rung lên và những mảnh vụn đá từ chỗ va đập văng đi tứ phía, xa hàng chục kilômét.

Vậy liệu chúng ta có thể ngủ ngon khi bầu trời còn chứa đầy những đe dọa như vậy hay không? Các số liệu thống kê cho biết là: có thể. Trung bình, như ta đã thấy, phải vài ba thế kỷ mới xảy ra một vụ va đập ở đâu đó trên Trái đất với một thiên thạch đá thuộc loại Toungouska. Và cho dù điều đó có xảy ra đi nữa thì hầu như chắc chắn là thiên thạch đó sẽ rơi xuống các đại dương chiếm ⅔ diện tích của hành tinh xanh, hoặc rơi vào một vùng lục địa nào đó không có người ở. Một thiên thạch có kích thước trên 100 m nếu rơi xuống biển sẽ gây ra một cơn sóng thần rất lớn. Đó là những đợt sóng cao hàng trăm mét dội vào đất liền với sức mạnh không thể tưởng tượng nổi, tàn phá các thành phố ven biển. Những thiệt hại sẽ rất đáng kể nhưng cũng chỉ trong một khu vực mà thôi. Chúng sẽ không gây ra các hậu quả trên quy mô toàn

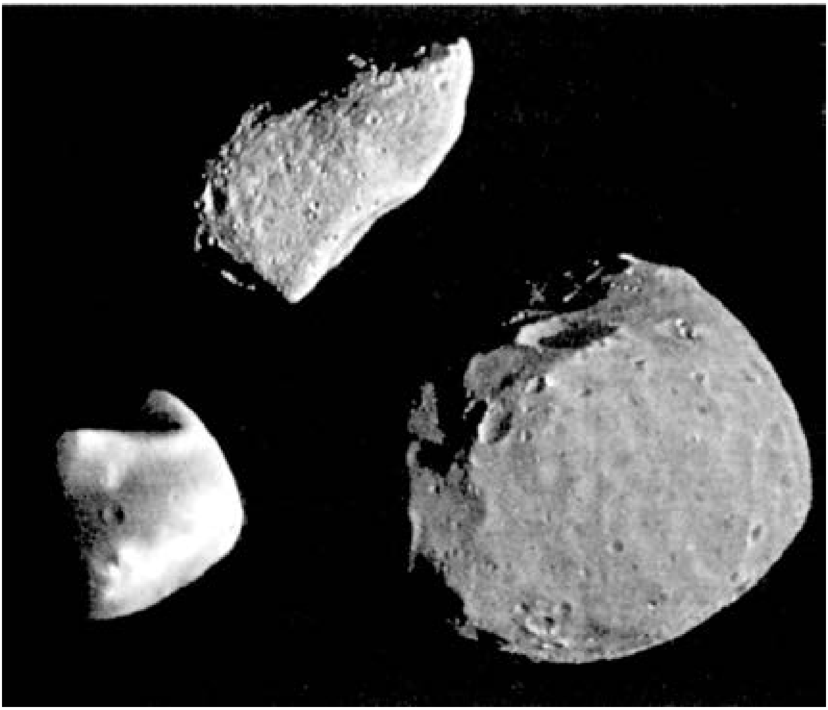
hành tinh. Cho dù không may, nếu thiên thạch có rơi đúng vào một vùng dân cư ở thì hậu quả gây ra cũng chỉ trong một phạm vi hạn chế với bán kính khoảng vài chục kilômét. Sẽ không có những hậu quả về khí hậu hoặc môi trường trên quy mô toàn cầu. Chắc rằng đây chẳng đủ để an ủi đối với những người ở trong vùng xảy ra tai họa, song có thể nói 99,99% dân cư toàn cầu sẽ không bị ảnh hưởng gì. Trong mọi trường hợp, kể từ khi loài người có sử sách, người ta chưa thấy có ghi chép nào nói tới một tai họa như thế cả. Hãng bảo hiểm của bạn chắc chắn sẽ được hưởng lợi nếu như bạn mua bảo hiểm ở đó để đề phòng rủi ro có một thiên thạch loại như Toungouska rơi xuống trúng đầu bạn. Xác suất để mỗi năm có một người bị chết do tai nạn kiểu như vậy chỉ là dưới một phần mười triệu.

Còn đối với các thiên thạch sắt, loại tạo ra những hố hình miệng núi lửa, thì chúng có thể gây ra các tổn thất nghiêm trọng theo một cách khác, song chúng còn hiếm xảy ra hơn nhiều. Các thiên thạch sắt chỉ chiếm 5% trong tổng số vật chất rơi xuống Trái đất. Hiếm hoi hơn nữa là các thiên thạch này cứ vài chục nghìn năm mới có một lần rơi xuống Trái đất và xác suất hàng năm để bạn phải nhận một thiên thạch rơi trúng đầu chỉ là nhỏ hơn một phần tỷ.

Liệu chúng ta có cùng chung số phận với loài khủng long?

Chúng ta đã thấy rằng cân bằng tổng thể của sự sống trên Trái đất sẽ không bị đe dọa bởi các cú va đập với các thiên thạch thuộc loại hai, mà kích thước của chúng chỉ dưới 100 m, ví như thiên thạch Toungouska hoặc các thiên thạch sau va chạm tạo ra các hố hình miệng núi lửa. Song điều gì sẽ xảy ra trong tương lai nếu Trái đất gặp phải các thiên thạch loại ba, tức là những thiên thạch cỡ

một quả núi lớn có kích thước từ 1km đến 10km? Khác hẳn với các thiên thạch loại nhỏ chỉ có thể gây ra những tác hại cục bộ, các thiên thạch loại lớn này có thể gây ra những tai họa mang tính toàn cầu, ảnh hưởng đến toàn bộ hành tinh. Công suất được giải phóng trong cú va đập với một thiên thạch có đường kính 1km có thể sánh với công suất của một quả bom 1 triệu mêga tấn, tức 10.000 lần lớn hơn công suất của những quả bom nhiệt hạch mạnh nhất. Cần phải cho nổ cùng một lúc tất cả các quả bom nguyên tử đang cất giữ trong tất cả các kho vũ khí trên thế giới mới có thể tạo ra một sức tàn phá tương đương như vậy. Vào đầu thập kỷ 1980, đề tài "Mùa Đông hạt nhân" luôn xuất hiện trên trang nhất các tờ báo. Hậu quả ghê gớm của một cuộc chiến tranh nguyên tử toàn cầu đối với Trái đất và nền văn minh nhân loại đã được mô tả với một sức lôi cuốn mạnh mẽ trên các phương tiện thông tin đại chúng. Kịch bản được trình bày không khác lắm so với những gì có thể xảy ra, khi Trái đất đụng phải một thiên thạch sát thủ loại ba với đường kính 1km. Một thiên thạch như thế chỉ có thể đụng vào Trái đất 250.000 năm một lần. Sự va đập của nó sẽ tung vào những tầng cao nhất của khí quyển một lượng bụi cực lớn. Tro tàn của vô vàn các vụ cháy rừng do cú va chạm gây ra sẽ hòa nhập vào các bụi đó. Bụi và tro sẽ tạo thành một bức màn mờ đục, chắn hết nhiệt và ánh sáng Mặt trời trong vòng nhiều tháng. Một sự lạnh dần trên quy mô toàn cầu với tốc độ vài độ bách phân mỗi tháng sẽ xảy ra và điều đó cứ kéo dài như thế trong nhiều năm. Và rồi một đêm dài băng giá sẽ sập xuống Trái đất. Quá trình quang hợp nuôi sống muôn loài cây cỏ sẽ bị ngưng trệ. Dây chuyền sản xuất lương thực sẽ bị rối loạn. Sản lượng lúa và lúa mì trên toàn cầu sẽ giảm xuống. Nạn đói và các loại dịch bệnh sẽ tăng lên. Một tỷ người và hơn thế nữa sẽ bị chết đói và chết bệnh. Rất hiếm thấy một quốc gia nào có



Hình 18. *Ba tiểu hành tinh*. Ba tiểu hành tinh này được con tàu thăm dò Galileo chụp vào năm 1995 trên đường nó đi tới Thổ tinh. Ảnh nằm bên trên là Gaspar, một tiểu hành tinh nằm trong vành đai tiểu hành tinh được chụp với độ phân giải 100m và từ khoảng cách 1600km. Gaspar có dạng hình củ khoai, có kích thước 16 (km) x11 (km) x 10 (km). Đây có lẽ là mảnh vỡ trong cuộc đụng độ của hai tiểu hành tinh lớn trong vành đai các tiểu hành tinh. Hai ảnh bên dưới chụp với cùng tỷ lệ là hai mặt trăng của Hỏa tinh, Demos (bên trái) với kích thước 16 (km) x 12 (km) x (10 (km) và Phobos (bên phải) với kích thước 28 (km) x 23 (km) x 20 (km). Hai mặt trăng này có nhiều khả năng là các tiểu hành tinh bị bắt bởi lực hấp dẫn của Hỏa tinh. Ba tiểu hành tinh này đều không có khối lượng đủ lớn để lực hấp dẫn nhào nặn thành khối hình cầu. Bề mặt cả ba đều có nhiều hố hình miệng phễu, hậu quả của những va chạm với các tiểu hành tinh nhỏ hơn. Những cuộc va chạm của các tiểu hành tinh có kích thước tương tự với Trái đất đều gây ra những hậu quả nghiêm trọng đối với sự sống trên hành tinh chúng ta. (*ảnh NASA*)

thể đương đầu nổi trước một thảm họa như vậy. Các hệ thống cơ cấu y tế, chính trị và kinh tế được xây dựng trong xã hội loài người đều bị đổ sập và nền văn minh của chúng ta chỉ còn lay lắt. Khả năng xảy ra một biến cố như vậy mỗi năm đối với cuộc sống của chúng ta chỉ có một xác suất rất nhỏ: 1 phần triệu. Bởi vì vòng đời trung bình của một người chỉ khoảng 100 năm, nên xác suất đó chỉ bằng 1 phần vạn đối với cả cuộc đời chúng ta. Nhân viên hãng bảo hiểm sẽ nói với bạn rằng nó 100 lần nhỏ hơn xác suất bị chết vì tai nạn ô tô, 200 lần nhỏ hơn xác suất bị giết bởi vũ khí súng đạn ở Mỹ, nhưng lớn hơn xác suất là nạn nhân của động đất, bão giông hoặc núi lửa phun cộng lại.

Bây giờ hãy nói tới các vụ đụng độ với những thiên thạch loại bốn, loại thiên thạch tàn khốc nhất và có sức tàn phá lớn hơn nhiều. Đó là các thiên thạch có kích thước cỡ 10km hoặc lớn hơn (H. 18). Chúng ta biết rằng các thiên thạch này cũng đã từng đến "thăm" Trái đất. Và thiên thạch với kích thước cỡ 14km đã va vào Trái đất cách đây 65 triệu năm và hủy diệt loài khủng long. May thay các thiên thạch khổng lồ ấy trong không gian chỉ có số lượng rất ít so với các loại thiên thạch khác nên chúng cũng ít đụng vào Trái đất hơn. Trung bình một thiên thạch hoặc một sao chổi có kích thước 10km chỉ đụng vào Trái đất 100 triệu năm một lần. Song các cuộc "thăm viếng" hy hữu của các thiên thạch sát thủ thuộc loại bốn này dễ gây ra những hậu quả thảm khốc đối với quá trình tiến hóa của sự sống trên Trái đất. Nền văn minh không còn lay lắt nữa, mà sẽ bị quét sạch sành sanh.

Một thiên thạch lớn cỡ 10km lao đi với tốc độ 20km/s thậm chí không hề biết đến bầu khí quyển là gì. Sau một hoặc hai giây đi qua khí quyển, nó nổ tung khi tiếp đất với một công suất cỡ 1 tỷ mêga tấn, tức là bằng gấp 1.000 lần công suất của toàn bộ các kho

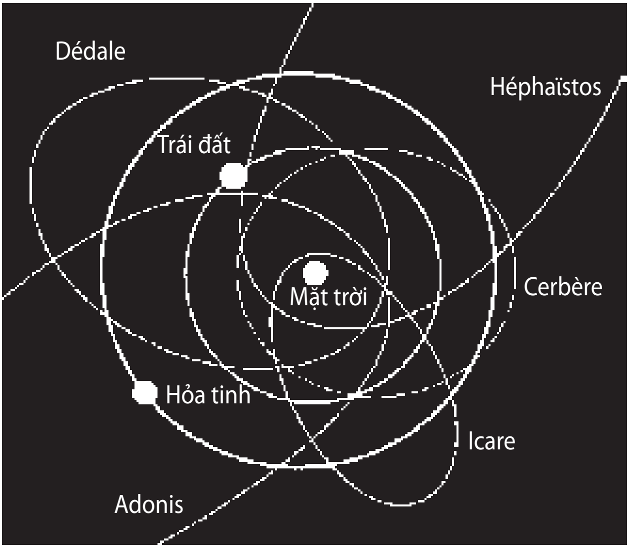
vũ khí hạt nhân hiện có trên toàn thế giới. Một hố lớn với 100km đường kính sẽ được đào sâu trong vỏ Trái đất. Vật chất cháy sáng sẽ văng tít lên tận tầng cao thăm thẳm để đi vào quỹ đạo quay xung quanh Trái đất. Những trận mưa lửa sẽ dội xuống hành tinh xanh gây cháy và tàn phá. Các châu lục đều bốc cháy. Tro và bồ hóng pha trộn với bụi bị văng vào không gian sẽ che chắn hết ánh sáng Mặt trời trong nhiều năm. Nhiệt độ sụt xuống 10 đến 20°. Mùa hè cũng đóng băng. Một đêm đông vô tận trùm lên tất cả. Những trận mưa đầy độc tố (các đám cháy sinh ra một lượng rất lớn cacbon và lượng cácbon này phản ứng với các chất trong bầu khí quyển tạo ra các độc tố) và mưa axit dội xuống hành tinh chúng ta. Sau một thời kỳ đầu giá lạnh và tăm tối sẽ là một thời kỳ nóng bỏng bởi hiệu ứng nhà kính do chất dioxyt-cacbon gây ra trong khí quyển.

Cũng như thiên thạch loại ba, cú va đập của một thiên thạch loại bốn không còn gây những hậu quả cục bộ nữa mà là có tính chất toàn cầu. Chúng ta đã từng biết rằng một thiên thạch có kích thước cỡ 14km đã gây ra một đêm dài băng giá trên Trái đất và đã hủy diệt hai phần ba các loài sinh vật vào khoảng thời gian giữa kỷ Creta và kỷ Đệ tam. Những con khủng long cuối cùng và cả nhiều loài sinh vật biển nữa đã "đột ngột" biến mất. Nhưng sự kiện đó không phải là duy nhất. Dựa vào sự nghiên cứu các hóa thạch thuộc các kỷ khác nhau, các nhà cổ sinh vật học cho chúng ta biết rằng đã có không ít những biến đổi dữ dằn xảy ra trong đời sống các sinh vật trên mặt đất vào các thời xa xưa. Các vụ tàn sát cứ khoảng 40 triệu năm lại xảy ra một lần. Trong vòng 250 triệu năm qua đã có tới 6 vụ tàn sát xảy ra trên quy mô lớn. Đã nhiều lần hành trình của sự sống phải làm lại từ đầu, để rồi lại bị hủy diệt, và bắt đầu trở lại. Liệu có phải các lần đứt quãng đó đều là do các thiên thạch loại bốn gây ra?

Bảo vệ Trái đất

Phải chăng đây là cái nhìn bi quan về quá trình tiến hóa dài hạn của sự sống trên hành tinh chúng ta? Có thể là như vậy. Trong mọi trường hợp, chúng ta đã biết đến sự tồn tại của ít ra là một trăm tiểu hành tinh có đường kính lớn hơn 1km và đang bay trên quỹ đạo cắt ngang quỹ đạo Trái đất (H. 19). Và có thể còn tới hai nghìn tiểu hành tinh như thế mà chúng ta hoàn toàn chưa hề biết đến. Do đó, nguy cơ của một cuộc va đập là có thực. Tháng Giêng năm 1989 một khối đá lớn có kích thước khoảng 5km được gọi là Toutatis đã bay ngang qua Trái đất ở khoảng cách 15 triệu km - một khoảng cách nhỏ nhoi trong thang khoảng cách thiên văn. Chính Toutatis lại lướt sát gần chúng ta một lần nữa vào tháng 9 năm 2000. Và một "vị khách" khác cũng đã được dự báo: đó là sao chổi Swift-Tuttle với một lõi rắn chắc và kích thước cỡ 5km. Sao chổi này bay theo một quỹ đạo có thể đưa nó đến gần Trái đất tới mức có thể xảy ra va chạm mạnh với Trái đất trong chuyến "viếng thăm" sắp tới vào tháng 8 năm 2126.

Nhưng chúng ta có thể làm gì nếu như một nhà thiên văn học báo trước rằng ngày mai sẽ có một thiên thạch hoặc một sao chổi đâm thẳng vào Trái đất? Trái ngược với các tai họa tự nhiên khác mà con người hoàn toàn bất lực, như động đất, giông bão hoặc núi lửa phun, ngày nay nhân loại đã nắm được trong tay những công nghệ cần thiết để bảo đảm rằng trời không thể đổ sập xuống đầu chúng ta được. Chúng ta có thể làm đổi hướng bay của thiên thạch to bằng cỡ một trái núi. Một thiên thạch nguy hiểm có thể được phát hiện trước từ nhiều thập kỷ. Trong trường hợp đó, chúng ta có thì giờ rộng rãi để chuẩn bị một quả bom nguyên tử đặt trong khoang một tên lửa, rồi phóng đi và làm cho nó nổ gần thiên thạch đang đe dọa, nhằm làm đổi hướng đường bay tiền định của nó.



Hình 19. *Các tiểu hành tinh chuyển động cắt ngang quỹ đạo của Trái đất*. Quỹ đạo của một số tiểu hành tinh cắt ngang quỹ đạo của Trái đất tạo ra những nguy cơ xảy ra va chạm. Trên hình có vẽ 5 tiểu hành tinh gọi theo tên các nhân vật của thần thoại Hy Lạp: Adonis, Cerbère, Dédale, Héphaïstos và Icare. Người ta tính rằng có khoảng một trăm tiểu hành tinh có nguy cơ tương tự.

Chỉ cần làm thay đổi vận tốc vài cm/s, tức một phần nghìn vận tốc của thiên thạch là đủ. Miễn là làm sao để cho thiên thạch không nổ tung thành nghìn mảnh: vì nếu không, chúng ta có thể sẽ phải đối mặt với rất nhiều thiên thạch nhỏ lao hết tốc lực vào Trái đất, chứ không phải chỉ là một.

Trường hợp sao chổi lao vào chúng ta xem ra phức tạp hơn. Bởi vì nó đến từ rất xa, bên ngoài Hệ Mặt trời (ta biết rằng một vùng dự trữ các sao chổi gọi là đám mây Oort đang tồn tại ở nơi có khoảng cách lớn gấp 50.000 lần khoảng cách Trái đất - Mặt trời) và bởi vì một sao chổi nguy hiểm chỉ có thể được phát hiện trong vòng một năm trước khi nó va đập tan tành vào Trái đất. Việc làm lệch hướng sao chổi chỉ có thể được thực hiện ở nơi rất gần chúng

ta, điều này đòi hỏi phải làm thay đổi vận tốc của nó một cách đáng kể hơn nhiều, và quả bom nguyên tử cũng phải có công suất mạnh hơn. Rắc rối hơn nữa là, khác với các tiểu hành tinh, sao chổi không chỉ chịu tác dụng lực hấp dẫn của Mặt trời mà còn của cả chín hành tinh. Sự bốc hơi của tuyết bẩn bắt đầu từ nhân sao chổi, do sức nóng của Mặt trời, cũng tác động đến nó như những cú hích nhẹ, khiến cho quỹ đạo của nó rất khó có thể tính được một cách thật chính xác. Vì thế, ngay ở thời điểm phải quyết định biện pháp ngăn chặn và làm chệch hướng quỹ đạo của nó, chúng ta vẫn còn chưa biết chắc chắn sao chổi đó có thật sự gây nguy hiểm hay không. Chẳng hạn, đối với sao chổi Swift Tuttle, hiện chúng ta cũng chưa biết chắc chắn khi trở lại gần Trái đất lần sau vào năm 2126, nó có thực sự đụng vào Trái đất hay không.

May thay những sao chổi nguy hiểm chỉ có rất ít so với các tiểu hành tinh nguy hiểm. Chúng chỉ chiếm nhiều nhất là 10% trong tổng số. Tuy nhiên, việc xác định các tiểu hành tinh sát thủ và đánh giá nguy cơ của chúng đối với cuộc sống trên Trái đất cũng như việc phóng lên một trái bom để làm chệch hướng đường bay của chúng, nếu cần, đều đòi hỏi rất nhiều tiền bạc. Và bao giờ cũng vậy, những nhà lãnh đạo chính trị là người nắm giữ hầu bao. Mà các vị này lại thường tỏ ra chậm chạp và không thật tin rằng nguy cơ đó là có thực. Cũng dễ hiểu thôi: khi mà những vấn đề tội phạm, ma túy và sự nghèo đói luôn đeo bám họ trong suốt cả ngày làm việc, thì vấn đề bầu trời có sập xuống đầu hay không, chỉ là vấn đề lý thuyết mà thôi. Tuy nhiên, tình hình đã thay đổi kể từ tháng 7 năm 1994, khi toàn thế giới được trực tiếp nhìn thấy trên màn hình vô tuyến một thiên thể loại ba bị vỡ tan khi đụng vào, không phải Trái đất, mà Mộc tinh, một hành tinh khổng lồ của Hệ Mặt trời.

Những vết thương của Mộc tinh

Trái đất không phải là hành tinh duy nhất trong Hệ Mặt trời được coi là mục tiêu bắn phá của các thiên thạch sát thủ. Mộc tinh với khối lượng cực lớn và lực hấp dẫn cực mạnh của nó đã hút về phía mình rất nhiều vị khách không mời. Tháng 7 năm 1994, sao chổi Shoemaker - Levy 9 đã đâm xuyên qua bầu khí quyển dày dặc của hành tinh này, nhưng không dưới dạng một khối duy nhất. Trước đó, vào tháng 2 năm 1992, sao chổi này đã một lần tiếp cận Mộc tinh ở khoảng cách rất nguy hiểm (cỡ 100.000km) mà rất may không đụng vào nó. Song, lực hấp dẫn cực lớn của Mộc tinh đã xé tan nhân bằng đá của sao chổi này thành vài chục mảnh (mảnh lớn nhất có kích thước khoảng 1km). Các mảnh đó chuyển động nối đuôi nhau theo cùng một quỹ đạo (xem ảnh 6 trong tập ảnh mầu), nhìn giống như các hạt trên một chuỗi hạt kéo dài tới 1 triệu km, gấp ba lần khoảng cách Trái đất - Mặt trăng. Chúng, mảnh nọ nối tiếp mảnh kia, lao vào bầu khí quyển Mộc tinh gồm hyđrô và hêli, với vận tốc 60km/s. Cuộc đụng độ giữa Schoemaker - Levy 9 với Mộc tinh là một thảm họa hành tinh đầu tiên được cả thế giới nhìn thấy trực tiếp qua màn hình TV. Đó là những hình ảnh thu được gần như tức thời, do các kính thiên văn đặt trên mặt đất và trong không gian (như kính Hubble), đã hướng sẵn về phía vụ đụng độ loại ba hiếm có đó.

Các cư dân Trái đất đã có thể nhìn thấy trong vài ngày liền các cảnh tàn phá gây ra bởi mấy chục cuộc va đập trong chuỗi các đám mây đen bao quanh hành tinh khổng lồ này. Các ánh chớp, hình nấm của các vụ nổ, các cuộn khói đối lưu và các bọt khí đã chứng tỏ sức mạnh ghê gớm của mỗi cú va đập. Ở chỗ xảy ra mỗi cú va đập, trong vòng vài phút đã xuất hiện một quả cầu lửa sáng lòa,

đốt nóng không khí bao quanh lên hàng nghìn độ. Năng lượng tỏa ra có thể so với năng lượng của 5 tỷ quả bom nguyên tử như quả bom đã từng tàn phá Hiroshima. Mỗi cú va đập, về sức mạnh, có thể sánh với cú va đập đã từng làm hủy diệt loài khủng long cách đây 65 triệu năm. Hành tinh đã rung lên và bên trong nó những dư chấn còn kéo dài nhiều ngày sau đó. Những vết thương khổng lồ to bằng cả Trái đất hiện lên trên các tầng khí cao của Mộc tinh. Gương mặt Mộc tinh bây giờ mang những vết "bầm tím" tựa như bộ mặt sưng húp của một võ sĩ quyền anh bị đối phương đánh nhiều cú vào mặt (xem các ảnh 7 và 8 trong tập ảnh màu). Hằng hà sa số những chùm mảnh vụn của sao chổi vỡ bị ném vào không gian trước khi rơi trở lại bầu khí quyển của Mộc tinh. Các vết thương này còn lâu mới hàn gắn được: phải mất nhiều tháng, thậm chí nhiều năm chúng mới có thể thành sẹo và để cho bầu khí quyển trở lại trạng thái ban đầu của nó. Các mảnh sao chổi rơi xuống sẽ bị các trận gió mạnh chuyển đi xung quanh Mộc tinh, và phải nhiều năm sau chúng mới có thể phân tán hết đi được.

Sự canh phòng vũ trụ

Vụ va đập hành tinh được quan sát trực tiếp đã làm thức tỉnh các nhà lãnh đạo chính trị về sự đe dọa của các thiên thạch sát thủ. Vài tuần sau cuộc va đập giữa sao chổi Shoemaker - Levy 9 và Mộc tinh hồi tháng 8 năm 1994, Quốc hội Mỹ đã yêu cầu NASA phải đề xuất một phương tiện xác định những vật thể có quỹ đạo bay cắt ngang quỹ đạo Trái đất nhằm thiết lập một chương trình "canh phòng vũ trụ" (*Spaceguard*), dưới dạng một mạng kính thiên văn toàn cầu, có nhiệm vụ cảnh giới bầu trời và xác định vị trí của tất cả các thiên thể có nguy cơ gây ra những vấn đề làm phương hại tới Trái đất. Mạng lưới này phải có khả năng phát hiện tất cả các

thiên thể với đường kính 1km trở lên có thể cắt ngang quỹ đạo của hành tinh chúng ta trong vòng 10 năm tới.

Cho đến nay chương trình *Spaceguard* vẫn còn đang ở bước dự án. Các nhà khoa học cho rằng Quốc hội Mỹ đã phạm sai lầm quá lạc quan. Cần phải mất không phải 10 mà là 25 năm mới có thể thống kê đầy đủ các thiên thạch nguy hiểm có kích thước lớn hơn 1km nhờ một mạng lưới 6 kính thiên văn có đường kính 2-3m phân bố đều trên mặt đất và được trang bị những dụng cụ phát hiện tối tân và cực kỳ nhạy cảm đối với ánh sáng. Mạng lưới đó phải thường trực canh phòng toàn thể vòm trời để dò tìm các thiên thể ở gần, chuyển động nhanh hơn so với các vì sao cố định ở xa hơn.

Thực ra, những vấn đề đặt ra ở đây không chỉ có tính chất kỹ thuật hoặc khoa học thuần túy. Đây còn là những vấn đề chính trị và quân sự. Chính trị vì cần phải có sự tài trợ, song cũng vì cần phải có sự hợp tác quốc tế. Một quốc gia đơn độc khó có thể hành động được nhằm giải quyết một vấn đề động chạm đến sự sống còn của tất cả các quốc gia trên hành tinh. Số phận của nền văn minh nhân loại là công việc của tất cả quốc gia. Vấn đề đặt ra còn mang tính quân sự, bởi vì cần phải dè chừng để người ta không thể dùng một công trình nhằm bảo vệ Trái đất làm cái cớ để phát triển và nghiên cứu các kỹ thuật phục vụ chiến tranh.

Sao chổi đem lại sự sống

Chúng ta đã thấy các thiên thạch khi đụng vào Trái đất đã làm thay đổi ghê gớm kết cấu của thực tại cũng như đã làm biến đổi khốc liệt môi trường sống đến mức nào. Để nhào nặn nên thực tại, thiên nhiên đã sử dụng mọi phương tiện mà nó có. Trên cái nền của những định luật vật lý, thiên nhiên đã tạo ra tính phức tạp. Nó

không chỉ sử dụng cái ngẫu nhiên, thông qua các thiên thạch, để mang lại cho chúng ta vũ điệu của bốn mùa, ánh sáng êm dịu của Mặt trăng và tạo thuận lợi cho sự sinh sôi của tổ tiên chúng ta là loài có vú, mà có khi nó còn sử dụng các hòn đá từ trên trời rơi xuống để đem lại sự sống cho Trái đất.

Để hiểu việc đó được thực hiện như thế nào, chúng ta hãy đi ngược dòng thời gian một lần nữa đến 4,6 tỷ năm về trước, tức là thời kỳ hình thành Hệ Mặt trời. Hay nói một cách cụ thể hơn là vào thời các tiểu hành tinh đã kết thúc quá trình kết dính để đem lại cho Mặt trời non trẻ cả một bầu đoàn các hành tinh. Trong thời kỳ đầu, Trái đất còn chưa có nước. Thế mà ngày nay các đại dương đã chiếm tới hai phần ba diện tích của hành tinh xanh. Phải giải thích điều bí ẩn này như thế nào đây? Chính các sao chổi đã giúp chúng ta làm sáng tỏ chuyện này. Được cấu tạo bởi các lớp tuyết bẩn, nên các sao chổi lưu giữ rất nhiều nước. Mặt khác, trong tỷ năm đầu tiên của Hệ Mặt trời, các sao chổi và các tiểu hành tinh đã bắn phá vào các hành tinh mới được hình thành dữ dội hơn rất nhiều so với hiện nay. Các vết rỗ trên mặt Thủy tinh (H. 8) và trên Mặt trăng (H. 7) là những bằng chứng rất rõ. Trong thời kỳ đầy những xáo trộn ấy, các sao chổi có lẽ đã đem lại cho hành tinh chúng ta một lượng nước lớn gấp nhiều lần lượng nước hiện có tại các đại dương, cùng với lượng silicat trong các nhân đá của chúng để tạo thành vỏ Trái đất và một bầu khí quyển thứ hai[1].

---

1. Trái đất đã từng mất đi bầu khí quyển nguyên thủy của nó. Bầu khí quyển này bao gồm phần lớn là khí hyđrô (75%) và hêli (23%) giống như trong tinh vân mặt trời. Song, do bị đốt nóng ghê gớm bởi lửa Mặt trời, các nguyên tử hyđrô và hêli chuyển động hỗn loạn dữ dội, và do chúng quá nhẹ nên lực hấp dẫn Trái đất không thể giữ chúng lại được. Các khí này thoát khỏi Trái đất và mất hút trong không gian.

Các sao chổi và các tiểu hành tinh còn có thể đóng một vai trò quan trọng nữa. Chính các thiên thể tới từ không gian này có thể là nguồn gốc của sự sống trên Trái đất. Một số người cho rằng chúng đã gieo vào các đại dương những chất hữu cơ như axit amin, là các chất mà khi kết hợp lại thành những chuỗi dài sẽ sản sinh ra các protein, rồi các phân tử ADN, những "viên gạch" cấu thành nên sự sống. Các chất hữu cơ từ trên trời rơi xuống này theo một nhịp độ đạt tới 10.000 tấn mỗi năm và được tích tụ thành một lớp với bề dày trên 1km. Giả thuyết về chất hữu cơ từ trên trời rơi xuống được đưa ra là do người ta đã phát hiện được rất nhiều chất hữu cơ trong các thiên thạch rơi xuống Trái đất. Thiên thạch rơi xuống gần Murchison (Úc) vào tháng 9 năm 1969 chứa tới trên 400 chất, trong đó có nhiều hợp chất hữu cơ không thể tìm thấy trên Trái đất. Mặt khác, việc nghiên cứu nhân các sao chổi đã cho thấy chúng được cấu tạo một nửa bằng tuyết bẩn và nửa kia là silicat và các chất hữu cơ. Người ta cho rằng các chất hữu cơ rơi từ trên trời xuống đó đã được tạo thành bởi rất nhiều các phân tử giữa các vì sao (khoảng gần 90) mà các nhà thiên văn vô tuyến đã phát hiện được từ cuối những năm 1960. Họ đã hết sức sửng sốt, vì không ai có thể nghĩ rằng trong cái giá lạnh ở $-260^{o}C$ và trong môi trường chân không hầu như tuyệt đối giữa các vì sao, lại có thể sản sinh ra những phân tử như phân tử hyđrô (H_2), phân tử monoxyt-cacbon (CO) hoặc hơn thế nữa là các phân tử nước (H_2O), phân tử mêtan (CH_4) hoặc amoniac (NH_3). Thiên nhiên đã tỏ ra cực kỳ sáng tạo trong một môi trường rất không thuận lợi như vậy. Đúng là người ta chưa tìm thấy axit amin trong môi trường giữa các vì sao, nhưng người ta đã tìm thấy các tiền thân của chúng, ví dụ như các phân tử cyanat hyđrô hay amoniac. Các chất này khi tác dụng với nước của các sao chổi và các thiên thạch có thể sẽ sản sinh ra các axit amin.

Như vậy là các thiên thạch rơi từ trên trời xuống không chỉ gây ra cuộc tàn sát loài khủng long và nhờ đó đã tạo điều kiện cho các loài có vú - tổ tiên xa xưa của chúng ta - sinh sôi nảy nở một cách mạnh mẽ, mà còn tạo ra sinh quyển bằng cách mang đến nước và các loại khí cần thiết cho các đại dương và bầu khí quyển của chúng ta. Chúng là sợi dây nối kết Vũ trụ bao la và Trái đất. Bản thân chúng ta được cấu tạo từ những nguyên tử do "lò luyện đan hạt nhân" trong lòng các ngôi sao nặng tạo thành. Rồi trong cơn hấp hối và bùng nổ của mình, các ngôi sao này đã phóng những nguyên tử đó vào môi trường giữa các vì sao. Là những sứ giả đích thực của không gian, các sao chổi và các tiểu hành tinh đã đón nhận những hạt bụi này của các vì sao để gieo sự sống trên hành tinh tuyệt đẹp của chúng ta.

Cái tất định và cái ngẫu nhiên

Chúng ta đã thấy các sự kiện trên trời hoàn toàn ngẫu nhiên và không thể tiên đoán được lại có thể ảnh hưởng sâu sắc đến cuộc sống hàng ngày của chúng ta như thế nào. Trái với các định luật vật lý, các sự kiện này không phải do tính tất yếu quy định mà là do ngẫu nhiên và tình cờ. Ở mọi cấp độ, thực tại được tạo thành nhờ sự tác động phối hợp giữa cái xác định và cái bất định, giữa cái ngẫu nhiên và cái tất yếu. Trong trường hợp của Hệ Mặt trời, lý thuyết vật lý (tức định luật vạn vật hấp dẫn của Newton và các định luật chi phối hành trạng của các chất khí) có thể tiên đoán được sự hình thành của Mặt trời cũng như của các hành tinh, thông qua quá trình kết dính các tiểu hành tinh. Lý thuyết đó có thể tiên đoán được rằng đa số các hành tinh sẽ nằm trên cùng một mặt phẳng là mặt phẳng của đường xích đạo Mặt trời (còn gọi là

mặt phẳng Hoàng đạo). Lý thuyết đó cũng có thể cho biết trước rằng các hành tinh đều tự quay quanh nó và quay xung quanh Mặt trời theo cùng một hướng với Mặt trời, tức từ Tây sang Đông. Hướng quay này được quy định bởi hướng quay ban đầu của tinh vân mặt trời. Tuy nhiên, lý thuyết đó lại không thể tiên đoán được số lượng chính xác của các hành tinh (ví dụ tại sao lại là 9 chứ không phải là 5). Giá trị chính xác của độ nghiêng Trái đất ($23,5^o$) cũng không được quy định trước bởi một định luật vật lý nào. Việc một thiên thạch đã bứt Mặt trăng con ra khỏi Trái đất mẹ là một sự kiện ngẫu nhiên, không được xác định từ trước. Cái ngẫu nhiên tồn tại một cách đương nhiên ở mọi cấp độ của thực tại.

Cái ngẫu nhiên và cái tất yếu đều là những công cụ thiết yếu của tự nhiên. Chúng là những sắc màu bổ sung cho nhau trên bảng màu của nó. Các định luật và hằng số vật lý được cố định ngay từ những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ đã dẫn dắt nó tiến tới độ phức tạp ngày càng tăng. Từ 15 tỷ năm trước, khởi đầu từ một chân không chứa đầy năng lượng, tự nhiên đã lần lượt sản sinh ra các hạt cơ bản, các nguyên tử, phân tử, các chuỗi ADN, các vi khuẩn và tất cả mọi sinh vật trong đó có con người. Trên tấm toan mênh mông vô tận này do các định luật vật lý chi phối, tự nhiên đã biết lợi dụng cái ngẫu nhiên để phát minh và sáng tạo ra độ phức tạp. Cái ngẫu nhiên cho tự nhiên sự tự do cần thiết để cách tân, để mở rộng phạm vi các khả năng được quy định bởi khuôn khổ thường quá chật hẹp của các định luật vật lý và làm thỏa mãn các nhu cầu của nó về tính đa dạng và phức tạp. Tất cả đều có sự tham gia của cái ngẫu nhiên và cái tất yếu, của các sự kiện ngẫu nhiên và các định luật mang tính tất định. Chính vì vậy mà thực tại không bao giờ có thể được mô tả hoàn toàn chỉ bởi các định luật vật lý. Sự ngẫu nhiên và lịch sử sẽ mãi mãi giới hạn mọi giải thích đầy

đủ về thực tại. Để giải thích sự xuất hiện của loài người, chúng ta có thể viện tới tiểu hành tinh đã từng xuất hiện trên bầu trời cách đây 65 triệu năm, trước khi nó đụng vào Trái đất và hủy diệt loài khủng long, song chúng ta không bao giờ có thể cắt nghĩa được tại sao tiểu hành tinh ấy lại đến va vào hành tinh của chúng ta vào đúng thời điểm đó. Để giải thích vẻ đẹp của mùa xuân rực rỡ sắc hoa, chúng ta có thể viện tới cú va đập của một tiểu hành tinh vào Trái đất, song chúng ta không bao giờ có thể giải thích được các điều kiện của cú va chạm đã làm cho Trái đất nghiêng chỉ một góc 23,5°, chứ không phải hoàn toàn đổ nghiêng sang một bên như Thiên Vương tinh khiến nó phải chịu những đêm cũng như ngày kế tiếp nhau, kéo dài dằng dặc hàng nửa năm trời...

Sự can dự của lịch sử không phải là nguyên do duy nhất đem lại sự giải phóng cho tự nhiên. Chính các định luật vật lý cũng đã mất đi tính tất định của chúng. Với sự phát triển của lý thuyết hỗn độn, cái ngẫu nhiên đã lừng lững bước vào thế giới vĩ mô.

CHƯƠNG BA

HỖN ĐỘN TRONG GUỒNG MÁY VŨ TRỤ VÀ BẤT ĐỊNH TRONG TẤT ĐỊNH

Sự cáo chung của những cái tất định

Thế kỷ XX đã lần lượt chứng kiến sự sụp đổ của các bức tường tất định và xác định đã từng bao quanh pháo đài vật lý học Newton. Vào năm 1905, với lý thuyết tương đối của mình, Einstein đã xóa nhòa sự tin chắc của Newton về một không gian và thời gian tuyệt đối. Rồi vào những năm 1920-1930, cơ học lượng tử đã đập tan sự chắc chắn của khả năng hoàn toàn đo được một chính xác nhất có thể. Vận tốc và vị trí của một hạt cơ bản của vật chất không thể đồng thời đo được với độ chính xác vô hạn. Bức tường cuối cùng của sự chắc chắn và tất định đã sụp đổ vào cuối thế kỷ: khoa học về hỗn độn đã loại bỏ sự chắc tin của Newton và Laplace vào một quyết định luận tuyệt đối của Tự nhiên. Trước khi lý thuyết hỗn độn xuất hiện, từ "trật tự" được coi là từ chủ đạo. Trái lại, từ "lộn xộn, vô trật tự" đã bị coi là cấm kỵ, không được đếm xỉa đến và từ đó bị loại ra khỏi ngôn ngữ khoa học. Tự nhiên phải vận động một cách chính quy và tất cả những gì tỏ ra thiếu chính quy hoặc lộn xộn đều bị coi là quái

dị. Khoa học về hỗn độn đã làm thay đổi tất cả. Nó đã đặt cái không chính quy trong cái chính quy, cái vô trật tự trong cái trật tự. Nó đã thổi bùng lên trí tưởng tượng của các nhà khoa học và cả của công chúng, bởi vì khoa học này quan tâm đến cả những đối tượng ở thang bậc của con người và đề cập tới cả cuộc sống thường nhật.

Thuyết tương đối có "địa bàn" của mình là thế giới của những cái vô cùng lớn, thế giới của các "lỗ đen", các thiên hà, của toàn thể vũ trụ. Còn cơ học lượng tử lại vận hành ở một cực khác: đó là thế giới của cái vô cùng bé, thế giới của các electron, của các nguyên tử và các phân tử. Trong khi đó, bản thân hỗn độn lại có vẻ quen thuộc, gần gũi khiến chúng ta yên lòng. Có ai trong đời lại chưa từng một lần phàn nàn về sự "hỗn độn". Đó cũng lại là những hiện tượng ta thường thấy hàng ngày: những làn khói thuốc lá vằn vèo, một lá cờ đang tung bay trước gió, những điểm tắc nghẽn gần như vô tận trên xa lộ hoặc thậm chí những giọt nước rò rỉ từ một chiếc vòi vặn không chặt. Với khoa học hỗn độn, các đồ vật trong đời thường cũng trở thành những đối tượng nghiên cứu thực sự.

Khoa học hỗn độn còn có sức hấp dẫn bởi lẽ đó là một khoa học tổng thể, nó đã phá đổ các bức tường ngăn cách giữa các ngành khoa học khác nhau. Nó tập hợp các nhà nghiên cứu thuộc những lĩnh vực khác nhau và chống lại khuynh hướng chuyên môn hóa quá đáng hiện đang là đặc điểm của một số lĩnh vực nghiên cứu. Khoa học này còn hấp dẫn bởi vì nó đã làm sụp đổ những thành trì của quyết định luận và giành vị trí hàng đầu cho ý chí tự do. Hơn thế nữa, đây là một khoa học coi trọng cái toàn thể và buộc quy giản luận phải rút lui. Thế giới không thể được giải thích chỉ bằng

các yếu tố cấu thành nên nó (các quark, các nhiễm sắc thể hay các nơron) mà nó phải được thâu tóm trong tính tổng thể của nó.

Tuy nhiên, cho dù có những mặt hấp dẫn nói trên, khoa học về hỗn độn chỉ thực sự phát triển vào những năm 1970 nhờ sự giúp đỡ của một đồng minh hết sức bất ngờ, đó là máy tính. Máy tính đã trở thành thiết yếu đối với việc nghiên cứu các hệ thống hỗn độn, cũng giống như kính hiển vi cần thiết cho việc nghiên cứu vi trùng, máy gia tốc cần cho việc nghiên cứu các hạt cơ bản của vật chất nhằm khai phá thế giới vi mô và như kính thiên văn cần cho các cuộc thăm dò không gian sâu thẳm vậy.

Nhưng, mặc dù phải mất nhiều thời gian mới có thể xuất hiện như một lĩnh vực nghiên cứu hoàn toàn riêng biệt, khoa học hỗn độn đã có những vị tiên phong thiên tài. Một trong số những người tiên phong ấy là nhà toán học Pháp Henri Poincaré (1854-1912), người đã từng nổi loạn chống lại sự chuyên chế của quyết định luận Newton ngay từ cuối thế kỷ XIX.

Quyết định luận và quả bóng quần vợt

Bạn đang chơi quần vợt. Và bạn đang sẵn sàng đánh trả quả bóng đang bay về phía mình. Một cú đập và quả bóng bay trở lại phía bên kia lưới. Một nhà vật lý có thể nói với bạn chính xác đâu là chỗ quả bóng sẽ tiếp đất bên trong sân, nếu anh ta có hai loại thông tin: trước hết là những điều kiện ban đầu, tức là thời điểm và vị trí chính xác mà cây vợt đánh vào quả bóng cùng với vận tốc của quả bóng ở thời điểm ấy; sau đó là các định luật vật lý, mà ở đây là định luật vạn vật hấp dẫn của Newton. Định luật này ai cũng biết và đã được kiểm chứng nhiều lần trong các phòng thí nghiệm, trong đời sống hàng ngày (quả táo chín rụng xuống đất) và cả trên quy mô

Hệ Mặt trời (bằng việc quan sát chuyển động của các hành tinh). Về nguyên tắc, chúng ta có thể xác định được các điều kiện ban đầu của quả bóng một cách đủ chính xác, ví dụ bằng cách quay phim trận đấu nhờ một camera. Trên phim người ta có thể đo chính xác vị trí trong không gian nơi cây vợt đánh vào quả bóng. Để xác định thời điểm chính xác của cú đánh, người ta chỉ cần sử dụng một đồng hồ bấm giây. Cuối cùng, để đo vận tốc, người ta có thể nhìn hai hình kế tiếp nhau trên phim để đo khoảng cách mà quả bóng đã đi được và chia khoảng cách đó cho thời gian đã trôi qua giữa hai hình ảnh đó. Những phép đo các điều kiện ban đầu như thế của quả bóng có thể khá chính xác. Ví dụ, khi đo vị trí của quả bóng, người ta có thể phạm sai số vài ba xentimét. Để xác định thời điểm cây vợt đánh vào quả bóng, sai số phạm phải có thể là vài phần giây. Phải chăng những sự thiếu chính xác đó trong các điều kiện ban đầu muốn nói với chúng ta rằng: tương lai của quả bóng là không thể biết được và cũng không thể tiên đoán được? Hoàn toàn không phải như vậy, bởi vì sự chuyển động của quả bóng không phụ thuộc một cách siêu nhạy vào các điều kiện ban đầu. Sự thiếu chính xác ở mức độ vài xentimet, vài phần giây chỉ dẫn tới một sự thiếu chính xác cùng cỡ trong việc tiên đoán thời điểm và vị trí rơi của quả bóng trên sân. Chính điều đó đã làm cho cuộc chơi có thể tiến hành được. Nếu đường bay của quả bóng là không thể tiên liệu được, nếu một thay đổi rất nhỏ của cú đánh lại làm cho quả bóng chuyển động theo những quỹ đạo hết sức điên rồ, thì quả bóng có thể rơi xuống bất cứ đâu trên sân và cuộc chơi không thể thành được.

Nguyên nhân nhỏ, hậu quả lớn

Tuy nhiên, trong Tự nhiên cũng như trong đời sống hàng ngày, có rất nhiều tình huống lại phụ thuộc một cách cực kỳ nhạy cảm

vào những điều kiện ban đầu. Một sự thay đổi rất nhỏ trong trạng thái ban đầu của hệ có thể dẫn đến một thay đổi rất lớn về sau. Theo cách nói của các nhà toán học, thì sự thay đổi đó tăng theo hàm số mũ với thời gian. Nếu một đại lượng tăng gấp đôi trong một khoảng thời gian nào đó và nó lại tăng gấp đôi một lần nữa trong cùng khoảng thời gian tiếp theo và cứ như thế mãi, thì người ta nói là đại lượng đó tăng theo hàm mũ. Sự tăng trưởng như thế là rất lớn. Hãy lấy một thí dụ. Giả sử rằng sự lạm phát trở thành phi mã và đạt tới tỷ lệ 100%, có nghĩa là đồng tiền mất đi một nửa giá trị của nó và giá cả tăng gấp đôi mỗi năm. Chẳng hạn, một chiếc bánh mì năm nay giá 5F, năm sau sẽ thành 10F, năm sau nữa sẽ là 20F... Mười năm sau giá chiếc bánh sẽ là 5120F. Rồi 20 năm sau nữa giá đó sẽ là 5.242.880F. Bây giờ chắc bạn sẽ hiểu được tại sao sự bất ổn xã hội lại phát triển ở những nước có lạm phát lớn. Đó là những gì đã xảy ra ở nước Đức vào năm 1920. Lúc đó phải cần tới một vali đầy tiền giấy mới mua nổi một chiếc bánh mì. Chúng ta cũng có thể kiểm nghiệm sự tăng trưởng theo hàm mũ khi chúng ta gửi tiền vào quỹ tiết kiệm. Với lãi suất ổn định 5%, đồng vốn của chúng ta sẽ tăng gấp đôi trong hơn 14 năm, tăng gấp 4 lần trong hơn 28 năm, và đồng vốn đó sẽ thành 8 lần lớn hơn trong vòng hơn 42 năm một chút. Đương nhiên, ở đây chúng ta không tính đến tiền thuế và lạm phát.

Cũng tương tự như vậy, có những hệ vật lý phụ thuộc một cách rất nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu. Chỉ một nhiễu loạn nhỏ là kết quả sẽ hoàn toàn khác hẳn. Trái ngược với đường đi của trái bóng quần vợt, nếu bây giờ ta điều chỉnh chỉ một chút ít thôi vị trí hoặc vận tốc ban đầu, thì đường đi của vật sẽ bị nhiễu loạn, lúc đầu rất gần với quỹ đạo của vật khi chưa bị nhiễu, nhưng rồi sự chệch xa của hai quỹ đạo đó sẽ tăng theo hàm số mũ cho đến khi chúng

không còn liên quan gì với nhau nữa. Đó là cái mà người ta gọi là "hỗn độn".

Nếu bạn tra từ điển thì sẽ được cắt nghĩa hỗn độn là "lộn xộn, rối ren toàn bộ". Thực ra, từ "hỗn độn" (*chaos*) theo cách hiểu của các nhà khoa học hoàn toàn không có nghĩa là "vô trật tự", mà nó gắn với khái niệm "không thể tiên đoán", "không thể dự báo dài hạn được". Bởi vì trạng thái cuối cùng phụ thuộc một cách rất nhạy cảm vào trạng thái ban đầu, đến nỗi chỉ một chút nhỏ xíu cũng có thể làm thay đổi tất cả, nên chúng ta bị hạn chế một cách rất cơ bản trong việc tiên đoán trạng thái cuối cùng đó. Thực vậy, sự hiểu biết của chúng ta về trạng thái ban đầu luôn luôn có một độ thiếu chính xác nhất định, dù là rất nhỏ. Trong các hệ thống được gọi là "hỗn độn", độ thiếu chính xác đó cứ được khuếch đại lên mãi theo hàm số mũ và kết quả là ta không thể biết gì về trạng thái cuối cùng nữa.

Nhà tiên tri của hỗn độn

Poincaré là người đầu tiên đã suy ngẫm vấn đề về sự phụ thuộc của hành trạng một số hệ vào những điều kiện ban đầu, và ông đã thoáng nhận thấy rằng đối với các hệ đó, một sự thay đổi rất nhỏ lúc đầu cũng dẫn đến một sự thay đổi lớn của quá trình tiến hóa sau này, tới mức người ta không thể biết được tương lai của nó và mọi dự báo dài hạn đều trở nên vô ích. Chống lại tín điều mang tính quyết định luận của Laplace nói rằng "đối với một trí tuệ có khả năng thâu tóm chuyển động của những thiên thể lớn nhất cũng như chuyển động của các nguyên tử nhẹ nhất trong cùng một công thức, thì không có gì là bất định hết, cả tương lai lẫn quá khứ đều hiện diện trước con mắt của trí tuệ ấy", Henri Poincaré đã đưa ra một lời cảnh báo đầy dự cảm trong tác phẩm mang tên

Khoa học và phương pháp xuất bản năm 1908 như sau: "Một cái "nhân" cực nhỏ mà ta dễ bỏ qua đôi khi lại quyết định một cái "quả" khá lớn mà chúng ta không thể không nhìn thấy, nhưng lúc đó chúng ta lại nói rằng cái "quả" đó là do ngẫu nhiên mà có. Nếu biết một cách thật chính xác các định luật của Tự nhiên và tình trạng của vũ trụ ở thời điểm ban đầu, thì chúng ta có thể tiên đoán một cách chính xác tình trạng của chính vũ trụ đó ở thời điểm tiếp theo. Song, ngay cả khi các quy luật của Tự nhiên không còn là điều bí mật đối với chúng ta đi nữa, chúng ta cũng chỉ biết được tình trạng ban đầu của vũ trụ ấy một cách gần đúng mà thôi. Nếu điều đó cho phép chúng ta dự báo được tình trạng sau này với cùng một cỡ gần đúng như vậy, thì đó là tất cả những gì mà chúng ta cần và chúng ta sẽ nói hiện tượng này là tiên đoán được, và nó là do các quy luật chi phối. Song tình hình không phải bao giờ cũng như vậy. Có thể xảy ra trường hợp trong đó những khác biệt nhỏ trong các điều kiện ban đầu lại sinh ra những khác biệt rất lớn trong các hiện tượng cuối cùng; điều này cũng có nghĩa là một sai số nhỏ trong các điều kiện ban đầu có thể dẫn đến một sai số cực lớn trong những hiện tượng sau đó. Do vậy mà sự tiên đoán, dự báo trở thành không thể thực hiện được".

Mặc dầu có tiếng kêu báo động đó, nhưng khoa học về hỗn độn vẫn chưa cất cánh được. Poincaré đã vượt quá xa thời đại của mình. Hơn nữa, thời đó máy tính lại chưa xuất hiện để cho phép nhà toán học có thể ngoại suy xa hơn nữa hành trạng của các hệ rất nhạy cảm với những điều kiện ban đầu này và để kiểm chứng trực giác thiên tài của ông. Mọi chuyện cứ dậm chân tại chỗ như thế trong hơn một nửa thế kỷ. Và ngọn đuốc chỉ được nhen lại, gần như tình cờ, vào năm 1961 bởi nhà khí tượng học người Mỹ Edward Lorenz (1917 - 2008).

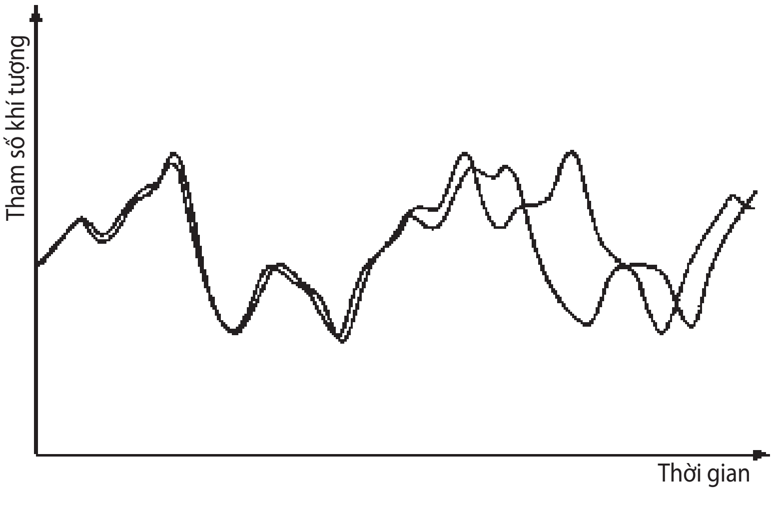
Hiệu ứng con bướm

Làm việc tại Học viện Công nghệ Massachusetts (MIT) nổi tiếng, Lorenz thường xuyên được sử dụng một máy tính để tính toán khí tượng. Vào đầu những năm 1960, các máy tính còn rất cồng kềnh và chẳng có chút mỹ quan nào với một mớ bòng bong những dây điện và các đèn điện tử. Chúng rất hay trục trặc và sẽ là một điều thần kỳ nếu như chúng có thể chạy đều trong vòng hơn một tuần mà không có hỏng hóc gì. Thậm chí, chiếc máy mà Lorenz sử dụng chiếm cả một phòng, nhưng nó không có được tốc độ và bộ nhớ cần thiết để tái tạo một cách hiện thực bầu khí quyển và các đại dương của Trái đất. Lorenz đã quy giản thành công khí tượng học về hình thức đơn giản nhất của nó bằng cách mô tả chuyển động của không khí và nước nhờ những phương trình thật đơn giản, bởi vì chính do sự tương tác của hai yếu tố này sẽ khiến trời mưa hay đẹp. Dù sao, máy tính khi đó cũng đã đem lại cho Lorenz nhiều niềm vui là nhận được những bản tin khí tượng. Đây là bản tin nói về một cơn gió Tây đột nhiên đổi sang hướng Bắc... Bản tin khác lại thông báo về một cơn gió lốc xuất hiện rồi tan đi. Còn đây nữa là bản tin nói về những luồng gió nóng bất ngờ thổi tới và ở đó áp suất đột ngột hạ thấp. Để lấy tin từ máy tính, Lorenz cho máy in ra những đường lượn sóng, cho biết sự biến thiên của một hiện tượng vật lý, ví dụ như tốc độ của gió Bắc biến thiên theo thời gian chẳng hạn. Như vậy, những khi thời tiết yên ả, đường cong sẽ vẽ nên hình những thung lũng, còn những khi gió thổi mạnh theo từng cơn thì nó sẽ vẽ nên hình những quả đồi.

Một ngày mùa đông năm 1961, Lorenz muốn tiếp tục thực hiện tính toán một bản tin thời tiết bị ngắt giữa chừng. Song, để tranh thủ thời gian ông không làm lại từ đầu mà cho máy bắt đầu tính

từ chỗ vừa bị ngắt. Lorenz cho chạy chương trình, rồi đi uống cà phê. Khi ông quay trở lại, một kết quả hết sức bất ngờ đang chờ đợi ông. Và chính điều bất ngờ này đã cho ra đời một khoa học mới, khoa học về hỗn độn.

Lorenz đã kỳ vọng rằng đường biểu diễn mới được bắt đầu từ chỗ bị ngắt quãng của đường cong cũ sẽ ăn khớp với đường cong cũ và sự sai khác nếu có cũng chỉ cỡ milimét là cùng. Nhưng ông đã rất kinh ngạc khi thấy kết quả lại không phải như vậy. Hai



Hình 20. *Hiệu ứng con bướm và khí tượng học*. Nhà khí tượng Edward Lorenz (1917 - 2008) đã phát hiện ra rằng xuất phát từ hai điều kiện ban đầu gần như là đồng nhất, hai mô hình khí tượng được tính trên máy tính và hai đường cong trên hình biểu diễn sự tiến hóa của chúng theo thời gian ngày càng xa rời nhau và sau một vài tháng trở nên hoàn toàn khác nhau. Điều đó làm cho không thể dự báo thời tiết dài hạn được. Sự phụ thuộc cực kỳ nhạy cảm này vào điều kiện ban đầu thường được gọi là "hiệu ứng con bướm": một cái đập cánh của con bướm ở Braxin có thể gây ra bão tố ở Texas.

đường biểu diễn chỉ đi sát với nhau ở đoạn đầu, rồi chúng tách xa nhau rất nhanh, khiến cho trong vòng vài tháng của mô hình, vẻ gần gũi của chúng hoàn toàn không còn nữa (H. 20). Lúc đầu Lorenz tưởng rằng máy tính bị trục trặc, nhưng sau một lát suy ngẫm, ông thấy rằng sự thực không phải vậy. Nguyên nhân gây ra sự khác biệt giữa hai đường biểu diễn nằm ngay ở chính các con số mà ông đưa vào máy tính như những điều kiện ban đầu của lần tính mới. Máy đã đưa ra con số 0,145237 vào lúc chương trình bị ngắt; bộ nhớ của máy chỉ có thể lưu trữ 6 con số lẻ sau dấu phẩy. Nhưng khi đưa trở lại vào máy con số đó với tư cách là điều kiện ban đầu của lần tính mới, do lười, ông đã làm tròn số, và chỉ gõ vào máy 0,145 chứ không gõ cả 6 số lẻ vào. Ông nghĩ rằng một sự khác biệt dưới một phần nghìn chắc sẽ không gây ra chuyện gì nghiêm trọng lắm. Nhưng ông đã lầm: một sự thay đổi rất nhỏ lúc ban đầu thực sự đã dẫn đến những thay đổi cuối cùng rất to lớn.

Như vậy là hỗn độn đã quy định một giới hạn cơ bản đối với khả năng dự báo thời tiết của chúng ta. Song điều đó không có nghĩa là bạn không nên nghe các bản tin dự báo thời tiết trước hoặc sau chương trình Thời sự. Những dự báo thời tiết ngắn hạn, một hoặc hai ngày, trên một diện tích hẹp như nước Pháp, vẫn rất đáng tin cậy. Nhờ có vô tuyến truyền hình, chúng ta đã quen thuộc với các hình ảnh gửi về từ vệ tinh, trên đó những khối mây màu trắng nhạt nhảy múa và quay cuồng bên trên các lục địa. Nhờ có những hình ảnh đó và những hiểu biết về hướng gió, nhà khí tượng có thể dự báo tương đối dễ dàng thời tiết trong vòng 24 hoặc 48 giờ. Đối với những dự báo dài ngày hơn, sự hỗ trợ của các máy tính là rất cần thiết để dựng nên các mô hình lưu chuyển tổng quát của các khối không khí trong bầu khí quyển Trái đất. Người ta truyền cho các máy tính những dữ liệu khí tượng như áp

suất, nhiệt độ và độ ẩm thu thập được từ các trạm khí tượng đặt rải rác khắp nơi trên địa cầu, những dữ liệu địa lý như vị trí các dãy núi và các đại dương hay cùng với các định luật vật lý mô tả hành trạng của các khối không khí. Sau đó, người ta yêu cầu máy tính dự báo xem trong vòng một hay hai tuần tới thời tiết sẽ như thế nào. Và kết quả: người ta sẽ thấy rằng trong vòng vài ngày đầu, thời tiết được dự báo và thời tiết thực tế không khác nhau là mấy. Chẳng hạn, một khi bản tin thời tiết đã báo rằng ngày mai trời nắng, thì khả năng cuộc đi chơi dã ngoại của bạn ngày mai gặp mưa là rất ít xảy ra. Ngược lại, nếu sau 6 hoặc 7 ngày lại là chuyện khác; những dự báo sẽ trở thành tư biện, thậm chí rất sai. Cái giới hạn của sự hiểu biết đó là không thể đảo ngược. Và những mầm mống của nó không thể tách rời khỏi sự vận động của Tự nhiên. Để hiểu hết tính nết của nó, bạn có thể phủ kín mặt đất cả một hệ thống các trạm khí tượng chằng chịt, cái nọ sát cạnh cái kia; mặc dù vậy vẫn luôn có những thăng giáng nhỏ trong bầu khí quyển, nhỏ đến mức không thể phát hiện được, song chúng vẫn có thể được khuếch đại để tạo ra những cơn gió Tây hay những luồng gió xoáy gây tàn phá, và làm biến đổi khí hậu trên toàn hành tinh. Chính vì vậy mà hỗn độn thường vẫn được giải thích bằng cái mà người ta gọi là "hiệu ứng con bướm": một cái đập cánh của con bướm trong rừng Amazon cũng có thể làm cho trời đổ mưa tại Paris. Sự hiểu biết của chúng ta không chỉ bị giới hạn bởi sự vận động của Tự nhiên, mà còn bởi công cụ tính toán chúng ta sử dụng để chọc thủng các bức màn bí mật của tạo hóa. Các máy tính không có những bộ nhớ vô hạn để lưu trữ những con số kéo dài vô tận. Cũng giống như Lorenz, chúng ta luôn vấp phải vấn đề phải làm tròn các con số. Vì vậy, dự báo thời tiết dài hạn chỉ là ảo tưởng mà thôi.

Ông trời hợp lý và con người bất hợp lý

Như vậy là việc nghiên cứu thời tiết đã thu hút sự chú ý của cộng đồng các nhà khoa học tới các hiện tượng hỗn độn. Tuy nhiên, xét về mặt lịch sử, hỗn độn bộc lộ lần đầu tiên không phải trong nghiên cứu khí tượng, mà là trong một lĩnh vực ít mong đợi nhất, đó là Hệ Mặt trời. Để tự an ủi về những điều bất trắc của cuộc đời, để xua đuổi nỗi phấp phỏng về tương lai, con người thường ngước mắt nhìn lên bầu trời với hy vọng tìm thấy ở đó một niềm xác tín mà họ ít thấy trong công việc cũng như trong các mối quan hệ nhân sinh. Trong cơn xoáy lốc làm mất phương hướng của cuộc đời, những hiện tượng trên trời cứ lặp đi lặp lại và đóng vai trò như một thứ bảo đảm cho sự bất định của ngày mai. Cùng với các ngôi sao, các hành tinh, hết đêm này đến đêm khác, cứ lặp đi lặp lại chuyển động của mình từ Đông sang Tây với một sự chính xác cực kỳ. Rồi sự đều đặn không gì lay chuyển được của Mặt trời trên hành trình của nó ngang qua bầu trời, và Mặt trăng hết khuyết lại tròn, đều đặn trong một tháng. Đối với tổ tiên chúng ta, sự đều đặn đó của bộ máy thiên đình là bằng chứng cho thấy vũ trụ là hợp lý, mặc dù sự bất hợp lý nhan nhản xung quanh họ.

Bao giờ cũng vậy, bầu trời tỏ ra tinh tế và phức tạp hơn nếu người ta nghiên cứu nó một cách chi li hơn. Chẳng hạn, các quan sát cho thấy hằng ngày Mặt trời không mọc từ cùng một điểm trên đường chân trời, mà có sự xê dịch. Các ngôi sao cũng vậy, trong suốt một năm, ban đêm chúng mọc ở những vị trí khác nhau bên trên đường chân trời, thậm chí có những ngôi sao còn biến mất không nhìn thấy nữa trong cả mấy mùa. Một số điểm sáng có hành trạng còn khó hiểu hơn nữa: chúng cũng đi qua bầu trời đêm từ Đông sang Tây, nhưng lại thay đổi vị trí so với các ngôi sao khác

và đôi khi thậm chí còn chuyển động về phía sau (gọi là "chuyển động lùi"). Ngày nay, chúng ta biết được rằng các điểm sáng "lang thang" đó lại chính là những hành tinh (theo từ Hy Lạp có nghĩa là "lông bông") của Hệ Mặt trời. Tuy nhiên, bất chấp những chuyện phiền toái này, các quan sát trong những khoảng thời gian dài hơn đã phát hiện ra những nhịp điệu rất tinh tế. Sự dịch chuyển qua lại của Mặt trời trên đường chân trời lúc bình minh và sự xuất hiện ban đêm của một số vì sao và các chòm sao đều có liên quan đến sự chuyển mùa. Mặt trăng có chu kỳ quay riêng của nó, ngắn hơn nhiều so với chu kỳ quay của Mặt trời. Nó quay khoảng 13 vòng thì Mặt trời mới quay được đúng một vòng. Ông trời xem ra rất hợp lý và có thể tiên đoán được, trái lại, những công việc của con người lại không dự báo nổi.

Những đài đá ở Stonehenge

Ở phía nam nước Anh, khách tham quan đi sâu vào vùng đồng bằng Salisbury sẽ nhìn thấy nhiều dãy các mộ đá (*dolmens*) và các đài đá (*menhirs*) như từ dưới đất mọc lên, xếp theo những vòng tròn đồng tâm, cao từ 3 đến 6 mét, nom rất ngoạn mục. Khu đài đá rất ấn tượng này ở Stonehenge có lẽ đã được dựng lên từ thời đồ đồng, tức là giữa năm 2000 và năm 1500 trước Công nguyên. Đây có thể được xem như một đài tưởng niệm tuyệt vời dành cho trí tuệ con người, đã từng thử xua tan nỗi phấp phỏng lo âu trước không gian vô tận bằng cách tìm hiểu cái hợp lý ở trên trời (H. 21).

Stonehenge giống như một chiếc đồng hồ vũ trụ khổng lồ dùng để chỉ chuyển động của Mặt trời trong năm. Cách đây 4000 năm, dân cư của xứ sở này, mà sau đó trở thành nước Anh, đã quan sát thấy sự dịch chuyển qua lại trên đường chân trời của nơi Mặt trời



Hình 21. *Đài đá cổ*. Stonehenge là một đài thiên văn bằng đá được dựng lên từ khoảng 4000 năm trước, trong vùng đồng bằng Salisbury, ở phía Nam nước Anh. Đài thiên văn này ban đầu bao gồm 30 khối đá có đường kính tới 4m được xếp thành vòng tròn đường kính 30m. Một số khối đá xếp thẳng theo hướng mọc của Mặt trời và Mặt trăng ở những thời điểm đặc biệt trong năm như các ngày Hạ chí và Đông chí.

mọc, và sự dịch chuyển đều đặn đó tuân theo những quy tắc rất chính xác. Vào ngày Hạ chí (ở Pháp là ngày 21-6, ngày dài nhất trong năm và cũng là ngày bắt đầu mùa Hạ), Mặt trời mọc ở điểm dịch về phía Bắc nhiều nhất trên đường chân trời. Sáu tháng sau, vào ngày Đông chí (ở Pháp là ngày 21-12, ngày ngắn nhất trong năm và cũng là ngày mở đầu mùa Đông), điểm đó lại dịch về phía Nam nhiều nhất. Nửa năm sau, Mặt trời lại mọc ở điểm dịch về phía Bắc nhiều nhất. Và cứ như thế. Để kết nối với vũ trụ và tế trời, từ thời kỳ đồ đồng, con người đã dựng lên đài đá này, trong đó đường đi chính giữa hướng về điểm Mặt trời mọc dịch về Bắc

nhiều nhất. Nếu một ngày nào đó bạn đến Stonehenge vào đúng ngày Hạ chí, bạn sẽ thấy cảnh Mặt trời mọc rất hoành tráng được đóng khung trong một cổng đá được xây dựng từ cách đây khoảng 40 thế kỷ.

Điều bí hiểm của Mặt trăng

Những người xây dựng đài đá Stonehenge cũng rất quan tâm đến sự chuyển động của Mặt trăng. Bằng chứng là có khá nhiều những mô đất và hố như những dấu mốc trong đài quan sát Mặt trời. Chúng xếp thẳng hàng theo hướng Mặt trăng mọc tại điểm dịch về phía Bắc nhiều nhất trên đường chân trời. Sự xếp hàng này chỉ là gần đúng bởi vì chuyển động của Mặt trăng phức tạp hơn nhiều so với chuyển động của Mặt trời. Sau mỗi vòng quay, Mặt trăng không mọc ở cùng một điểm dịch về phía Bắc nhiều nhất trên đường chân trời, mà nó mọc ở những điểm khác nhau trong các vòng quay nối tiếp nhau. Cuối cùng, nó chỉ trở lại mọc ở điểm dịch về phía Bắc nhất ban đầu sau một khoảng thời gian dài tới 19 năm. Chu kỳ quay của Mặt trăng cũng thay đổi và rất đa dạng. Ví dụ, khoảng thời gian giữa hai kỳ trăng tròn là 29,5 ngày, trong thời gian này Mặt trăng để lộ tất cả mọi hình dáng (pha) của nó, từ trăng non đến trăng tròn, qua hình trăng lưỡi liềm rồi bán nguyệt. Mặt khác, chỉ cần 27,3 ngày là đủ để Mặt trăng lặp lại sự gióng hàng của nó với các vì sao. Các chu kỳ đa dạng này của Mặt trăng đã đặt ra một vấn đề đau đầu đối với các nhà xây dựng đài Stonehenge và những bậc tiền bối của họ. Trái lại, người ta có lẽ đã tưởng rằng cùng với sự ra đời của khoa học hiện đại vào thế kỷ XVI, sự phát triển của toán học và vật lý vào những thế kỷ tiếp theo, sự ra đời của máy tính vào thế kỷ XX, thì vấn đề chuyển

động của Mặt trăng đã được giải quyết và xếp vào tủ từ lâu lắm rồi. Nhưng hoàn toàn không phải như vậy. Không phải vì thiếu nhân tài và nỗ lực: những bộ óc vĩ đại nhất đều đã cặm cụi nghiên cứu vấn đề này. Song vấn đề chuyển động của Mặt trăng vẫn còn đó. Tuy nhiên, những người đi săn tìm những bí mật đó của Mặt trăng không đến nỗi phải ra về trắng tay. Họ đã tóm được hỗn độn! Các bạn hãy xem họ đã làm như thế nào...

Vòng tròn trên vòng tròn

Là một thiên thể gần chúng ta nhất và như một người che chở, Mặt trăng tỏa ánh sáng êm dịu của nó xuống các làng quê đang yên giấc và soi sáng các cặp tình nhân trong đêm tối, vì vậy nó luôn làm mê đắm trí tưởng tượng của con người. Thời xưa, các giáo sĩ thèm khát ảnh hưởng, các chính khách khao khát quyền uy đều đã chăm chú tìm hiểu sự chuyển động của Mặt trăng. Trong các xã hội cổ xưa, khi có nguyệt thực (hoặc nhật thực), người ta nghĩ rằng Mặt trăng (hay Mặt trời) đã bị các con rồng huyền bí hay các quái vật khác trên trời nuốt chửng. Các hiện tượng thiên thực đó đã làm cho dân chúng kinh ngạc và sợ hãi. Còn các chính khách hoặc giáo sĩ chỉ cần báo trước cho công chúng biết về những sự kiện đó là có thể gây ấn tượng mạnh mẽ cho thần dân về khả năng tiên tri và sự thông tuệ của họ.

Các nhà khoa học cũng say mê Mặt trăng không kém. Vào thế kỷ II sau Công nguyên, nhà thiên văn Hy Lạp Ptolemy đã tiến hành một cuộc tổng hợp lớn các kiến thức mà các bậc tiền bối đã thu hoạch được. Ông đã đưa ra một mô hình Mặt trăng được đánh giá cao trong cả nghìn năm sau. Trong một vũ trụ địa tâm, Trái đất đứng ở vị trí trung tâm của Hệ Mặt trời, và tất cả các thiên

thể khác, kể cả Mặt trời, đều quay xung quanh nó. Mặt trăng xoay quanh Trái đất trên một mặt phẳng nghiêng 5° so với mặt phẳng chứa Trái đất, Mặt trời và tất cả các hành tinh khác (tức mặt phẳng Hoàng đạo). Ptolemy phải giải quyết hai vấn đề: trước hết, chuyển động của Mặt trăng trên quỹ đạo của nó là không đều. Ở một số đoạn nó tăng tốc nhưng lại giảm tốc ở một số đoạn khác. Điều này đã làm khốn đốn học thuyết về sự chuyển động hoàn hảo và đều của các thiên thể, một học thuyết vốn rất được Aristoteles (384-322 trước Công nguyên) rất nâng niu. Ngoài ra, khoảng cách Mặt trăng - Trái đất lại thay đổi, bởi vì kích thước góc của Mặt trăng (nhìn từ Trái đất - ND) không cố định. Điều này bác bỏ ý tưởng cho rằng Mặt trăng chuyển động trên một mặt cầu đồng tâm với Trái đất. Bởi lẽ nếu đúng như vậy, khoảng cách Trái đất - Mặt trăng luôn phải bằng bán kính của mặt cầu đó, và do vậy không thể thay đổi được. Để giải quyết các vấn đề trên, Ptolemy đã tách Mặt trăng ra khỏi thiên cầu và đặt nó trên một đường tròn nhỏ được gọi là ngoại luân (*epycycle*) có tâm nằm trên một đường tròn khác. Như vậy, chuyển động của Mặt trăng là kết quả chồng chập của hai chuyển động: chuyển động đều của Mặt trăng trên (vòng tròn) ngoại luân và chuyển động đều của tâm vòng tròn này trên vòng tròn thuộc mặt cầu đồng tâm với Trái đất.

Mặt trăng không khuất phục các tính toán

Ở thế kỷ XVI, các tính toán về vị trí của Mặt trăng và những thiên thực đã trở thành một ngành công nghiệp thực sự. Để đáp ứng nhu cầu của các nhà hàng hải muốn biết thật chính xác vị trí các con tàu và nhu cầu lập lịch cho các ngày lễ hội và hội chợ, các nhà toán học - chiêm tinh đã tính toán không mệt mỏi các bảng vị

trí của Mặt trăng. Do mô hình của Ptolemy không đúng (Trái đất không phải là trung tâm của vũ trụ), nên theo thời gian, các sai số cứ tích tụ lại. Mặt trăng càng ngày càng chệch khỏi các vị trí theo tính toán, và người ta định kỳ phải tính toán lại từ đầu để lập ra các bảng mới. Tệ hơn nữa là tùy theo phương pháp sử dụng mà các tính toán lại cho những kết quả khác nhau.

Vũ trụ địa tâm đã kết thúc sự thống trị của nó vào năm 1543, khi vị trợ tế người Ba Lan là Nicolas Copernicus (1473-1543) đã đưa Trái đất ra khỏi vị trí trung tâm và đặt Mặt trời vào đó. Sử dụng kho báu những số liệu quan sát về vị trí các hành tinh do nhà thiên văn Đan Mạch Tycho Brahe (1546-1601) đo được với một độ chính xác vô song, nhà bác học người Đức là Johannes Kepler (1571-1630) đã chọc thủng bức màn bí mật về chuyển động của các hành tinh vào năm 1609: các hành tinh chuyển động theo các quỹ đạo hình elip chứ không phải hình tròn như Aristoteles đã từng đinh ninh. Mặt trời nằm ở một trong hai tiêu điểm của các elip đó, các hành tinh đều tăng tốc khi đến gần và giảm tốc khi đi ra xa Mặt trời. Và thế là sự huyền bí về tính đều trong chuyển động của các thiên thể đã bị rơi vào quên lãng.

Kepler cũng lao vào giải quyết bài toán chuyển động của Mặt trăng. Ông vứt bỏ ngoại luân của Ptolemy và đặt Mặt trăng vào quỹ đạo elip xung quanh Trái đất. Các tính toán của ông chính xác hơn rất nhiều và các bảng biểu do ông lập ra còn được sử dụng trong nhiều thập kỷ sau khi được công bố vào năm 1627. Song Mặt trăng vẫn tỏ ra rất bướng bỉnh, mãi nhiều thời gian sau, nó vẫn không chịu phù hợp hoàn toàn với các tính toán...

Mặc dù Kepler đã phân tích rất tỉ mỉ chuyển động của các hành tinh, nhưng nguyên nhân của các chuyển động ấy vẫn chưa được

làm sáng tỏ. Cái gì đã thúc đẩy các hành tinh đi theo quỹ đạo hình elip? Chắc chắn không phải là do một đạo quân các thiên thần nào đó như người ta đã lầm tưởng ở thời Trung cổ. Câu trả lời đã được một bậc thầy người Anh là Isaac Newton (1642-1727) đưa ra vào năm 1666. Nhà khoa học có một trực giác giàu tính cách mạng này cho rằng quả táo rụng trong vườn có liên quan đến chuyển động của Mặt trăng xung quanh Trái đất. Chỉ có một định luật duy nhất, đó là định luật vạn vật hấp dẫn, chi phối chuyển động tương ứng của quả táo và Mặt trăng. Các hành tinh chuyển động quanh Mặt trời theo quỹ đạo elip là bởi vì chúng chịu tác dụng từ lực hấp dẫn của Mặt trời.

Bài toán ba vật

Newton cũng từng nghiên cứu vấn đề quỹ đạo Mặt trăng và ông đã đưa vào đó một điểm mới mẻ. Thay vì quy nguyên nhân chuyển động của Mặt trăng chỉ do lực hấp dẫn của Trái đất, ông đã tính đến cả ảnh hưởng từ lực hấp dẫn của Mặt trời. Trong mô hình của Newton, Trái đất, Mặt trăng và Mặt trời đều hút nhau bởi lực hấp dẫn, là lực chỉ phụ thuộc vào khối lượng và khoảng cách giữa chúng. Và Newton hy vọng rằng những sự bất thường phức tạp diễn ra theo chu kỳ của Mặt trăng có thể được giải thích là do ảnh hưởng gây nhiễu loạn của Mặt trời đối với quỹ đạo elip của Mặt trăng quanh Trái đất.

Thoạt nhìn, bạn có thể nghĩ rằng vấn đề quỹ đạo của một thiên thể chịu ảnh hưởng lực hấp dẫn của hai thiên thể khác (các nhà toán học gọi đó là "bài toán ba vật") không đặt ra những khó khăn gì to lớn cả. Sau nữa, trong tác phẩm bậc thầy của mình, "*Những nguyên lý toán học của triết học tự nhiên*" được xuất bản vào năm

1687, Newton đã giải quyết trọn vẹn bài toán hai vật. Quỹ đạo của một vật chịu tác dụng từ lực hấp dẫn của duy nhất một vật khác chỉ có thể là hình elip, parabol hoặc hyperbol. Vậy thì còn gì giản đơn hơn là chuyển từ hai sang ba vật? Nếu nghĩ như vậy, bạn đã lầm. Các quỹ đạo của ba vật không thể được mô tả bởi một công thức toán học đơn giản như trong trường hợp hai vật. Vấn đề sẽ còn gay cấn hơn nữa khi chuyển sang bốn vật hoặc nhiều hơn.

Do không thể tìm được nghiệm chính xác của bài toán chuyển động của Mặt trăng, Newton đã phải dùng một phương pháp gần đúng mà các nhà toán học gọi là "phương pháp nhiễu loạn" để nhận được một nghiệm gần đúng. Ý tưởng của phương pháp này là trước hết hãy tính đến hiệu ứng chủ yếu, mà trong trường hợp ta đang xét là tác dụng của lực hấp dẫn của Trái đất lên Mặt trăng. Điều này không có gì khó bởi vì ta sẽ trở lại tình huống lý tưởng hóa và giản đơn hơn nhiều: bài toán hai vật mà Newton đã giải một cách trọn vẹn. Sau đó, tác động của vật thứ ba được coi như là một nhiễu loạn của tình huống lý tưởng hóa nói trên. Tuy nhiên, sự tính toán đối với nhiễu loạn này (hoặc đối với các nhiễu loạn trong trường hợp có nhiều hơn ba vật) không phải chuyện dễ dàng. Ngay cả đối với thiên tài như Newton cũng chưa thực hiện được đến cùng. Sau này chính Newton đã kể lại rằng: "Chưa bao giờ tôi phải đau đầu nhiều như khi nghiên cứu bài toán Mặt trăng". Sau cả một năm trời tính toán căng thẳng, các vị trí của Mặt trăng mà ông đã tính toán dựa vào lý thuyết của mình vẫn còn sai khác với vị trí quan sát được trên bầu trời đến ⅙ độ. Sai số này là đáng kể bởi vì kích thước góc của trăng rằm cũng chỉ là 1/2 độ. Do Mặt trăng ở rất gần chúng ta (khoảng cách là 384.000 km và ánh sáng của nó chỉ cần hơn một giây là đã tới chúng ta), nên một sự sai khác như thế có thể dễ dàng đo được. Newton đã coi công trình

nghiên cứu của ông về Mặt trăng là một thất bại lớn. Và sau những nỗ lực tinh thần căng thẳng như thế mà không được đền bù, ông đã từ bỏ khoa học. Có thể ông cảm thấy mình không còn năng lực sáng tạo của thời trai trẻ, như vào năm 1666, ở tuổi 24, ông đã từng làm thay đổi bộ mặt của vũ trụ khi cùng một lúc khám phá ra định luật vạn vật hấp dẫn, phép toán vi tích phân và bản chất của ánh sáng... Newton đã rút khỏi chức giáo sư trường Đại học Cambridge vào năm 1696 và dành phần lớn thời gian còn lại cuối đời để làm một chức vụ hành chính tại Kho bạc Hoàng gia: trông coi việc rập nổi đồng tiền mới.

Mặt trăng chưa trao cho con người bí mật của nó bởi vì phương pháp nhiễu loạn mà Newton sử dụng còn chưa tương xứng với tình hình thực tế. Lực hấp dẫn do Mặt trời tác dụng lên Mặt trăng là một phần quan trọng của tổng hợp lực tác dụng lên nó, và không thể đơn giản xem như một nhiễu loạn được. Giống như trong các mối quan hệ giữa con người với nhau, việc một người thứ ba xen vào đời sống của một cặp vợ chồng sẽ gây ra những tổn thất thực sự chứ không đơn giản chỉ là sự phiền nhiễu thông thường.

Thất bại của Newton đã không làm nản lòng những người nối nghiệp ông. Họ tiếp tục tấn công, mà tấn công còn dũng mãnh hơn, vào vấn đề Mặt trăng. Ở đó có những hứa hẹn về vinh quang, uy tín và ảnh hưởng xen lẫn với lợi ích khoa học. Thành và bại cứ nối tiếp nhau với nhịp điệu nhanh trong các Viện Hàn lâm Khoa học châu Âu, nhất là ở Paris, London và Berlin. Không khí tranh đua ngày càng mạnh mẽ. Các nhà toán học lớn nhất của thế kỷ XVIII và XIX đều quan tâm nghiên cứu vấn đề này. Trong số đó có Leonhard Euler người Thụy Sĩ (1707-1783), Joseph Louis de Lagrange người Pháp (1736-1813) và Pierre Simonde Laplace

(1749-1827) cũng là người Pháp. Khi tiến hành nghiên cứu bài toán này, họ đã phát hiện ra nhiều điều mới mẻ về toán học, nhưng Mặt trăng thì vẫn ngang ngạnh không chịu tuân theo các tính toán của họ. Euler đã dành cả đời mình cho việc nghiên cứu nhưng rồi cũng thú nhận thất bại. Ông viết: "Trong suốt bốn mươi năm trời, tôi đã thử xây dựng một lý thuyết về sự chuyển động của Mặt trăng, xuất phát từ nguyên lý vạn vật hấp dẫn, song tôi đã gặp không biết bao nhiêu là trở lực và cuối cùng tôi đành phải từ bỏ con đường của mình. Tôi không hiểu việc nghiên cứu Mặt trăng sẽ đi đến đâu và nó sẽ được sử dụng như thế nào vào các mục đích thực tế". Laplace đã ít nhiều thành công trong việc làm giảm sự sai khác giữa vị trí theo tính toán và vị trí quan sát được xuống còn nhỏ hơn $1/20$ độ, song ông vẫn chưa hoàn toàn chinh phục được Mặt trăng. Trên thực tế, tất cả mọi tính toán được thực hiện trong thế kỷ XIX, dựa vào các định luật Newton và một kho công cụ toán học khổng lồ, cũng không đem lại điều gì chính xác hơn những kết quả đã thu được từ 2000 năm trước bằng phương pháp kinh nghiệm của các nhà thiên văn Hy Lạp và Babylon khi quan sát thiên thực.

Để thoát khỏi tình hình này, cần phải có một cách tiếp cận hoàn toàn mới, hay nếu dùng thuật ngữ hiện đại của nhà nghiên cứu lịch sử khoa học Thomas Kuhn[1], thì phải có một "hình mẫu" tư duy khác một cách căn bản. Người tìm ra "hình mẫu" mới này là nhà toán học trẻ tuổi người Pháp Henri Poincaré. Ông đã đưa ra một phương pháp hết sức độc đáo để giải các bài toán của cơ học thiên thể. Và trong khi làm công việc đó, ông đã hoàn toàn tình cờ chạm đến hiện tượng hỗn độn. Ông đã chứng minh được rằng

---

1. Thomas Kuhn, *Cấu trúc của các cuộc cách mạng khoa học* - Nhà xuất bản Le Seuil, Paris -1982.

trong trường hợp ba vật tương tác với nhau bởi lực hấp dẫn, các phương trình Newton chứa đựng không chỉ những yếu tố chính qui, tiên đoán được, mà còn chứa đựng cả những yếu tố không chính quy, không thể tiên đoán được. Mặt trăng không chịu thuần phục các tính toán, bởi vì trong hành trạng của nó có một phần của tính không thể tiên đoán được mà Newton và những người nối nghiệp ông tới lúc đó đã không ngờ tới. Nói tóm lại là ngay các phương trình Newton đã chứa đựng mầm mống của hỗn độn.

Phải chăng quỹ đạo các hành tinh là vĩnh cửu?

Là một nhà nghiên cứu xuất sắc, một bộ óc hết sức độc đáo, ở tuổi 27 Jules Henri Poincaré đã là giáo sư toán học của Trường đại học Paris (H. 22). Ông bắt đầu nghiên cứu bài toán ba vật nhân dịp có cuộc thi toán học do Đại học Stockholm tổ chức để chào mừng kỷ niệm sinh nhật lần thứ 60 của Oscar đệ nhị (1829-1907), vua của Thụy Điển và Na Uy. Một trong những đề tài của cuộc thi là bàn về tính ổn định của Hệ Mặt trời. Có hai vấn đề được đặt ra: Thứ nhất, các hành tinh cứ ngoan ngoãn đi theo quỹ đạo của chúng quanh Mặt trời mãi mãi, lặp đi lặp lại cùng một chuyển động. Trong trường hợp đó Hệ Mặt trời sẽ là ổn định, bền vững. Thứ hai, vì sự tích tụ các nhiễu loạn của lực hấp dẫn do các hành tinh tác dụng lẫn nhau gây ra, quỹ đạo của các hành tinh sẽ thay đổi một cách căn bản trong một tương lai xa, làm cho sự sắp xếp của Hệ Mặt trời sẽ hoàn toàn khác đi. Trong trường hợp đó, Hệ Mặt trời sẽ là không ổn định và không bền vững. Ngay từ năm 1858, nhà toán học người Đức Gustave Dirichlet (1805-1859) đã khẳng định rằng ông đã phát minh ra một phương pháp mới để giải các phương trình Newton và nhờ đó chứng minh được rằng



Hình 22. *Henri Poincaré (1854-1912),* một trong những nhà toán học vĩ đại nhất của thời đại mình. Ông còn là một trong số những người tiên phong của lý thuyết hỗn độn. Khi nghiên cứu bài toán ba vật, ông là người đầu tiên hiểu được rằng sự tiến triển của một số hệ vật lý phụ thuộc rất nhạy vào các điều kiện ban đầu tới mức hành trạng sau đó của chúng là không thể tiên đoán được. Ông cũng phát hiện ra rằng hỗn độn nằm ngay trong lòng các phương trình tất định của Newton.

Hệ Mặt trời là bền vững. Các hành tinh không bao giờ đi chệch quỹ đạo hiện nay của chúng, những quỹ đạo đó cố định cho mãi mãi về sau. Nhưng sau đó một năm, cái chết đã đem ông đi cùng với ý kiến đầy tính khiêu khích đó. Ông ra đi mà không để lại bất kỳ một văn bản nào chứng minh cho khẳng định của mình. Do Dirichlet rất nổi tiếng về những chứng minh tài tình và sắc bén, nên lời khẳng định của ông về sự bền vững của Hệ Mặt trời được tiếp nhận một cách hết sức nghiêm túc. Rất nhiều nhà khoa học đương thời và những người kế tục ông cũng đã thử giải quyết bài

toán đó, nhưng tất cả đều không thành công. Từ đó mới nảy ra ý tưởng về cuộc thi này: liệu có thiên tài nào tìm lại được sự chứng minh đã mất của Dirichlet?

Những chuỗi vô hạn

Trước Poincaré, nhiều nhà toán học cho rằng có thể trả lời được câu hỏi về sự bền vững của Hệ Mặt trời bằng cách xem xét bản chất nghiệm của các phương trình Newton. Các nghiệm này đều dựa trên ý tưởng cho rằng vị trí và vận tốc của một vật tại một thời điểm cho trước quy định tất cả các vị trí và vận tốc tương lai của vật đó, giống như chúng đã từng là kết quả của các vị trí và vận tốc trước đó. Các định luật vật lý liên hệ trạng thái hiện tại của thế giới với trạng thái ngay trước và ngay sau đó theo dòng thời gian. Các định luật này mô tả sự sai khác giữa thời điểm hiện tại và những thời điểm ngay trước và ngay sau, do đó các định luật Newton đều được viết dưới dạng các phương trình vi phân.

Nghiệm của các phương trình vi phân này trông cực kỳ dễ sợ, đó là tổng của một số vô hạn các biểu thức mà các nhà toán học gọi là chuỗi. Vì họ, nói chung, không có đủ kiên nhẫn và thậm chí không có đủ tuổi thọ để tính hết tất cả các số hạng của chuỗi đó, nên họ nghĩ rằng có thể sẽ thu được một ý niệm khá chính xác về hành trạng của các hành tinh bằng cách chỉ cần tính một vài số hạng đầu tiên. Họ hy vọng rằng các số hạng tiếp theo sẽ nhỏ tới mức chúng chỉ đóng góp rất ít vào tổng chuỗi. Trong trường hợp đó chuỗi sẽ hội tụ nhanh tới đáp số cuối cùng (khi này chuỗi được gọi là hội tụ). Song tất cả các chuỗi không nhất thiết đều phải là hội tụ. Cũng có những chuỗi ngang ngạnh phân kỳ: những số hạng tiếp sau không phải là nhỏ; sự bao hàm của chúng trong chuỗi

không tránh khỏi làm tăng kết quả cuối cùng, khiến cho kết quả này sẽ không bao giờ tiến gần đến một giá trị cụ thể.

Về Hệ Mặt trời, vấn đề cốt yếu được đặt ra là: chuỗi mô tả chuyển động của các hành tinh có hội tụ không? Nếu hội tụ thì Hệ Mặt trời là bền vững và các hành tinh sẽ tiếp tục không mệt mỏi đi theo quỹ đạo của chúng quanh Mặt trời. Hay chuỗi đó là phân kỳ? Nếu vậy thì quỹ đạo các hành tinh sẽ thay đổi mà không gì có thể cứu vãn được.

Nếu Dirichlet có lý, người ta phải chứng minh được rằng chuỗi đó là hội tụ. Đó là thách thức mà những người tổ chức cuộc thi đặt ra cho các nhà toán học toàn thế giới để chào mừng ngày sinh của nhà vua Thụy Điển.

Thực tại trong tổng thể của nó

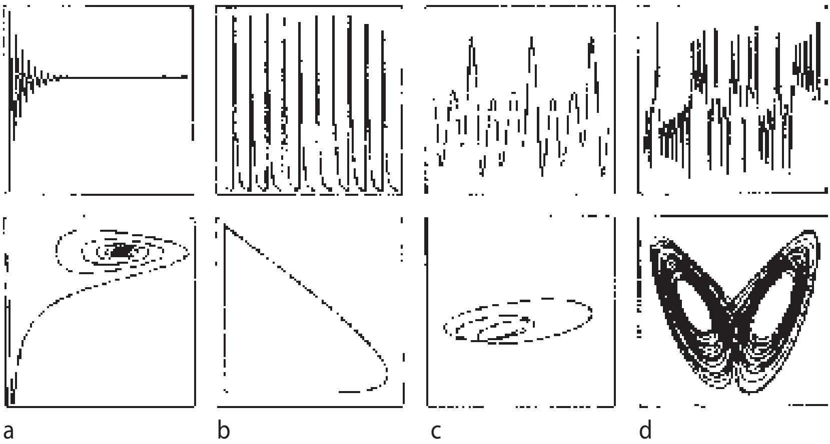
Henri Poincaré đã đương đầu với thách thức đó một cách xuất sắc. Tuy nhiên, ông mới chỉ tìm ra các nghiệm dưới dạng những chuỗi vô hạn. Thực ra, ông muốn nắm bắt thực tại trong tổng thể của nó. Nhưng phương pháp phương trình vi phân truyền thống lại cô lập những mảnh của thực tại, rồi sau đó mới lắp ghép các mảnh đó để dựng lại tổng thể của nó. Như Poincaré đã viết: "Thay vì phải xem xét quá trình tiến hóa của một hiện tượng trong sự toàn vẹn của nó, người ta lại chỉ tìm cách (bằng phương pháp phương trình vi phân) ghép nối một thời điểm với thời điểm khác ở liền ngay trước nó. Người ta cho rằng trạng thái hiện tại của thế giới chỉ phụ thuộc vào quá khứ vừa mới qua chứ không chịu ảnh hưởng gì bởi ký ức về quá khứ xa xăm". Sự để mất ký ức về quá khứ xa xăm này tất yếu dẫn đến sự tri giác về thực tại như một *continuum*, trong

đó không có sự vô trật tự và hỗn độn. Hơn thế nữa, việc giải các phương trình vi phân của bài toán ba vật bằng phương pháp chuỗi vô hạn là cực kỳ khó khăn, thậm chí không thể làm được, ngay cả đối với những nhà thực hành vĩ đại nhất của nghệ thuật đó. Đôi khi những người này đành quay về xét các trường hợp rất đặc biệt mà họ có thể giải được, nhưng điều đó chỉ đem lại cho họ một cách nhìn rất giản lược và cục bộ về thực tại. Thay cho tầm nhìn của con kiến luôn bị che khuất bởi một mô đất hay một túm cỏ, Poincaré muốn có tầm nhìn của đại bàng đang tung cánh bay cao trên những dẫy núi và thung lũng. Về bài toán ba vật, việc khảo sát chỉ một quỹ đạo đơn lẻ tương ứng với một tổ hợp cụ thể của các điều kiện ban đầu, đối với ông, xem ra còn quá hạn chế. Ông muốn phải đồng thời nhìn thấy toàn bộ cảnh tượng của các quỹ đạo với tất cả những tổ hợp khả dĩ của các điều kiện ban đầu. Vì mục đích đó, ông đã tận dụng cái trực giác hình học tuyệt vời của mình để phát minh ra những kỹ thuật mà cho đến nay vẫn còn được dùng làm nền tảng cho việc nghiên cứu hỗn độn.

Một không gian trừu tượng và đa chiều

Chúng ta đang sống trong không gian ba chiều. Chúng ta có thể tiến lên phía trước hoặc lùi lại phía sau, rẽ sang trái hoặc sang phải, trèo lên cao hoặc xuống thấp. Trong không gian đó, tại một thời điểm nhất định, vị trí của một quả bóng quần vợt bay qua bay lại trên lưới hoặc của một khinh khí cầu Phileas Fogg bay vòng quanh thế giới trong 80 ngày được xác định bởi ba tọa độ không gian. Để nhìn thấu cái toàn thể, Poincaré đã phải từ bỏ cái không gian quen thuộc trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta. Bằng trí tưởng tượng mạnh mẽ của mình, ông đã đưa mình vào một

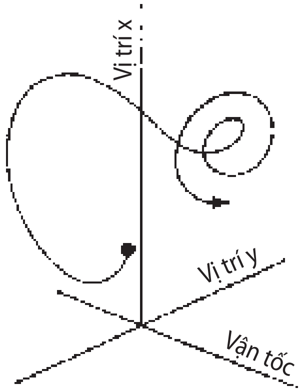
không gian trừu tượng nhiều chiều, được gọi là "không gian pha" (H. 23). Trong không gian trừu tượng này, vị trí của quả bóng hay của khinh khí cầu Phileas Fogg được xác định không chỉ bởi ba tọa độ không gian mà còn bởi cả ba tọa độ vận tốc: vận tốc từ cao xuống thấp, từ phải sang trái và từ trước ra sau (hoặc ngược lại). Trên sàn diễn của không gian trừu tượng đó, vận tốc trở thành một diễn viên có vai trò ngang với vị trí. Không gian trừu tượng đã có thêm ba chiều mới để đón nhận diễn viên mới này. Như vậy là phải có 6 chiều để mô tả một trái bóng quần vợt. Và lại phải có 6 chiều khác để biểu diễn một khinh khí cầu Phileas Fogg. Đối với bài toán ba vật cũng như vậy: cần phải có 6 chiều để mô tả Mặt trăng, 6 chiều khác để mô tả Trái đất và 6 chiều khác nữa để mô tả Mặt trời. Do vậy để có một cái nhìn tổng thể về ba vật, cần thiết phải có một không gian 18 chiều. Chính nhờ có nhiều chiều như vậy mà Poincaré không phải là con kiến nữa mà là đại bàng. Ông bay lồng lộng trên cao chứ không phải bò lệt bệt trên mặt đất. Ông không còn bị thu nhỏ lại để chỉ có một cái nhìn biệt lập mỗi lần một khía cạnh nữa, mà giờ đây ông đã có một nhãn quan toàn diện và đồng thời đối với tất cả các diễn viên trên sân khấu. Trong không gian nhiều chiều này, Hệ Mặt trời hoàn toàn được biểu diễn chỉ bởi một điểm duy nhất, thay vì 10 điểm (một cho Mặt trời và chín cho các hành tinh khác) như trong không gian ba chiều thông thường. Đó chính là cái đã làm nên sức mạnh cho cấu trúc toán học có tên là "không gian pha" này. Cho dù hệ thống được nghiên cứu có phức tạp đến đâu, bối cảnh của nó có kỳ cục đến thế nào và các diễn viên của nó có nhiều đến mấy đi nữa, thì chỉ cần một điểm trong không gian trừu tượng đó thôi là đủ để biểu diễn tổng thể của một hệ thống.



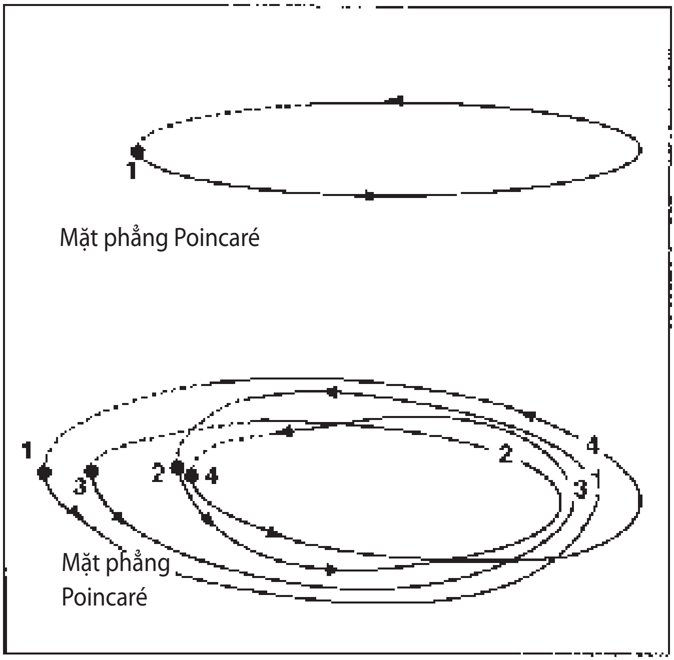
Hình 23. *Một số chân dung trong không gian pha*. Hành trạng động lực học của một hệ có thể được biểu diễn bằng hai cách khác nhau. Cách cổ điển là biểu diễn sự tiến hóa của hệ như một hàm số của thời gian (hình trên). Cách hiện đại là nghiên cứu các quỹ đạo của điểm biểu diễn trạng thái động lực học của hệ trong không gian pha (hình dưới). Ví dụ, hệ (a) hội tụ tới một trạng thái cân bằng sau rất nhiều dao động. Điều này tương ứng với những vòng lồng nhau, hội tụ dần tới một điểm trong không gian pha. Hệ (b) lặp lại một cách tuần hoàn và điều này tương ứng với một quỹ đạo tuần hoàn (*cyclic*) trong không gian pha. Hệ (c) cũng có chuyển động tuần hoàn, nhưng phức tạp hơn. Nó chỉ lặp lại sau ba dao động khác nhau: người ta nói rằng nó có vòng chu kỳ (*cycle of period*) bằng 3, điều này ứng với các vòng phức tạp hơn trong không gian pha. Hệ (d) là hỗn độn và trong không gian pha nó có dạng cánh bướm và có tên là nhân hút lạ Lorenz (xem thêm H.30).

Hỗn độn trong một dòng sông dài phẳng lặng

Nhưng cái làm cho Poincaré quan tâm không phải là khía cạnh tĩnh và đông cứng của hệ mà là khía cạnh động lực và tiến hóa của nó. Ông không muốn nghiên cứu Mặt trăng bất động trên quỹ đạo của nó, mà muốn tìm hiểu xem nó cựa quậy như thế nào, quỹ đạo của nó thay đổi ra sao trong suốt thời gian dài hàng tỷ năm. Khi



a



b

Hình 24. ***(a)*** *Không gian pha*. Để có một cái nhìn tổng thể về hành trạng của các hệ động lực, người ta thường biểu diễn hệ đó bằng một điểm trong một không gian trừu tượng nhiều chiều gọi là không gian pha. Không gian này có đủ số chiều

cần thiết để đặc trưng cho hệ. Chẳng hạn, các trục trên hình (a) biểu diễn các tọa độ không gian cũng như tọa độ vận tốc. Trong quá trình hệ tiến triển cùng với sự thay đổi vị trí và vận tốc của nó, điểm biểu diễn hệ vạch nên một đường cong trong không gian pha.

(b) *Mặt phẳng Poincaré*. Để khảo sát quỹ đạo của một điểm trong không gian pha, nhà toán học Henri Poincaré đã tưởng tượng cắt quỹ đạo này bằng một mặt phẳng thẳng đứng mà ngày nay gọi là "mặt phẳng Poincaré". Các giao điểm của quỹ đạo nói trên với mặt phẳng Poincaré vẽ nên ở đó những hình ảnh cho phép chúng ta phân biệt được những hành trạng khác nhau của hệ. Chẳng hạn, một điểm duy nhất trong mặt phẳng Poincaré [hình (b), bên trên] tương ứng với một chuyển động tuần hoàn. Trái lại, một chuyển động tuần hoàn, chuyển động chỉ được lặp lại sau 4 lần đi qua sẽ được biểu diễn bằng 4 điểm phân biệt trên mặt phẳng đó [hình (b), bên dưới].

hệ thống thay đổi và tiến hóa, điểm biểu diễn hệ trong không gian pha cũng dịch chuyển và vẽ nên trong đó một đường cong. Và nếu bạn thay đổi các điều kiện ban đầu, thì điểm biểu diễn hệ lại vẽ nên một quỹ đạo khác. Tập hợp các nghiệm của những phương trình vi phân mô tả hệ khi đó sẽ tương ứng với rất nhiều đường cong trong không gian pha, tựa như những con sóng trên một dòng sông đang chảy ra biển. Ta hãy hình dung một chiếc lá bị gió cuốn đi và sau rất nhiều sự quay cuồng trên không, nó đậu nhẹ xuống mặt nước của con sông toán học, con sông mang chiếc lá đi theo. Chiếc lá có thể đi theo một quỹ đạo đơn giản và thẳng băng trên mặt nước của con sông dài phẳng lặng, hoặc có thể gặp những chỗ cuộn xoáy làm cho nó vẽ nên những đường lượn phức tạp. Chuyển động của chiếc lá trên dòng sông toán học trừu tượng còn có tầm quan trọng lớn hơn nữa vì nó cho chúng ta biết về những chuyển động của hệ trong không gian thực. Chẳng hạn, để kiểm chứng sự tiến hóa của một hệ trong không gian thực có phụ thuộc một cách nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu hay không, ta chỉ cần nghiên cứu chuyển động của hai chiếc lá với các quỹ đạo ban đầu rất gần nhau trên dòng

sông toán học. Nếu quỹ đạo của chúng tách dần ra xa nhau, thì hệ là rất nhạy với các điều kiện ban đầu. Trái lại, nếu các quỹ đạo luôn ở gần nhau và giống nhau thì hệ không có sự nhạy cảm đó.

Những dòng sông toán học không có cùng hành trạng như những con sông ngoài đời. Trong khi những con sông thực đổ ra biển và không bao giờ quay lại nguồn của chúng, thì những con sông toán học không bắt buộc phải như vậy. Nếu chuyển động trong không gian thực là tuần hoàn, tức là lặp đi lặp lại như chuyển động của con lắc chẳng hạn, thì dòng sông toán học có thể trở lại điểm xuất phát của nó. Cũng tương tự như vậy, nếu một con sông thực có thể phân thành hai hoặc nhiều phụ lưu, thì những quỹ đạo toán học trong không gian pha lại bị cấm tách thành hai. Chúng cũng bị cấm không được cắt ngang một quỹ đạo khác, trong khi một dòng nước thực hoàn toàn có thể đổ vào một dòng nước khác.

Về cái bất định lởn vởn trong bóng tối

Khi đã có được nhãn quan tổng thể của con đại bàng, nhờ có không gian toán học nhiều chiều là không gian pha, Poincaré lao vào giải quyết bài toán ba vật, đề tài của cuộc thi được tổ chức để chào mừng nhà vua Thuỵ Điển. Làm được điều đó, ông sẽ thực hiện một cuộc cách mạng trong lĩnh vực toán học chuyên nghiên cứu mối liên hệ giữa các lực và chuyển động mà người ta thường gọi là động lực học. Quan trọng hơn nữa, ông đã lôi từ trong bóng tối ra một nhân vật hoàn toàn bất ngờ, nhân vật sẽ đóng vai trò căn bản trong việc "làm ra" thực tại. Đó là hỗn độn.

Bài toán của động lực học về hai vật tương tác với nhau bởi lực hấp dẫn của chúng đã được Kepler và Newton giải quyết. Hai ông

đã dạy chúng ta rằng một hành tinh quay quanh Mặt trời theo một quỹ đạo hình elip, với Mặt trời ở một trong số hai tiêu điểm của đường elip ấy. Bài toán ba vật, như đã thấy, lại khó theo một cách khác. Để phân tích sóng của các dòng sông toán học trong không gian pha, Poincaré đã tưởng tượng ra một loại màn ảnh phẳng cho phép các đợt sóng đi qua mà không bị nhiễu động gì, nhưng lại ghi được chính xác nơi mỗi đợt sóng đi qua. Chẳng hạn, một elip trong không gian thực tương ứng với một vòng kín trong không gian toán học này. Nếu một hành tinh không ngừng vạch ra cùng một quỹ đạo trên trời như Newton hằng tin tưởng, thì chính vòng kín đó cũng sẽ được đi qua không ngừng trong không gian pha. Vòng kín này sẽ xuyên qua màn ảnh, mà nay được gọi là mặt phẳng Poincaré, chỉ ở một điểm duy nhất (H. 24a). Như vậy, một chuyển động tuần hoàn trong không gian thực tương ứng với một điểm trên mặt phẳng Poincaré. Một chuyển động phức tạp hơn, nhưng sẽ được lặp lại sau bốn lần đi qua, sẽ được thể hiện bằng bốn điểm trên mặt phẳng đó (H. 24b). Một chuyển động không bao giờ lặp lại sẽ được biểu thị bằng vô số điểm. Giống như các điểm màu của họa sĩ George Seurat (1859-1891) làm nổi bật trên tấm toan cảnh tượng một ngày chủ nhật đồng quê trên hòn đảo Grand Jatte, những điểm của mặt phẳng Poincaré sẽ làm hiện lên những hình ảnh ngày càng bay bổng và nên thơ hơn, và độ phức tạp của chúng là sự phản chiếu trực tiếp độ phức tạp của chuyển động trong không gian thực. Máy tính ngày nay có thể trở thành họa sĩ, chúng dễ dàng tạo ra các bức tranh với một vẻ đẹp rực rỡ, làm tôn các sắc màu khiến cho ai nhìn cũng thấy sướng mắt. Một quỹ đạo đơn giản vẽ nên nhiều khúc uốn lượn trong không gian pha có thể tạo ra trên mặt phẳng Poincaré những hình ảnh tuyệt mỹ gợi cho ta cảnh núi non, thung lũng, cảnh những hòn đảo nhỏ

mất hút giữa các dòng sông chảy xiết đổ ra đại dương. Một sự thật hết sức lạ lùng: đó là cùng một họa tiết cứ được lặp đi lặp lại mãi mãi. Nếu bạn đem một mẩu nhỏ của cảnh đó phóng to lên bằng kính lúp, bạn lại sẽ thấy cảnh tượng y hệt của núi non, thung lũng, những đảo nhỏ và những dòng sông. Chỉ có điều khác là chúng ở thang nhỏ hơn mà thôi.

Chính khi xem xét các bức tranh đó mà Poincaré đã bắt gặp hỗn độn. Tất nhiên là vào năm 1888 ông chưa thể có các dàn máy tính cùng các thiết bị đồ họa laser mà ngày nay chúng ta đang sử dụng. Poincaré đành phải bằng lòng với trí tưởng tượng ghê gớm của mình. Và rồi thiên tài của ông đã giúp ông lờ mờ nhận thấy, thông qua các bức tranh hiện lên trên mặt phẳng mang tên ông, những tình huống trong đó một sự thay đổi rất nhỏ về vị trí hoặc vận tốc ban đầu của một trong ba vật, có thể làm thay đổi hoàn toàn quỹ đạo của nó. Sự thay đổi nhỏ đó có thể làm cho nó mất ổn định và rơi vào hỗn độn. Poincaré đã nhận ra rằng trật tự và hỗn độn hòa quyện mật thiết với nhau, và rằng cái không thể tiên đoán không bao giờ ở tách quá xa cái có thể tiên đoán. Trong mặt phẳng Poincaré, giữa các vùng ổn định vẫn có thể có những ốc đảo rối ren, cũng như giữa những miền hỗn độn nhất vẫn có thể xuất hiện những xó xỉnh rất trật tự. Chẳng hạn, Poincaré đã khám phá ra rằng một hệ ba vật, bề ngoài đơn giản như hệ gồm Mặt trăng, Trái đất, Mặt trời, bị chi phối bởi một định luật cũng chính xác và chặt chẽ như định luật vạn vật hấp dẫn của Newton, cũng có thể sản sinh ra cái không thể tiên đoán và cái không xác định. Vậy là cái bất định đàng hoàng bước vào qua cửa chính, và do đó cáo chung cái tất định của Laplace! Phát minh ra cái tương lai bất định này đã được Poincaré gửi gắm trong tập chuyên luận dày 270 trang mang nhan đề "V*ề bài toán ba vật và các phương trình của động lực học*".

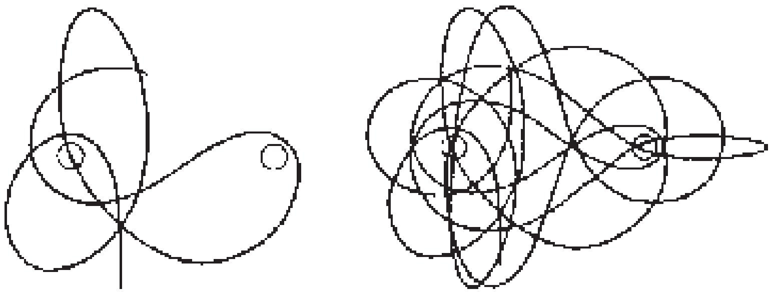
Vì sao hỗn độn lại tuột khỏi tay Newton?

Thực ra, tính bất định đã lởn vởn ngay trong lòng các phương trình của Newton. Và ông đã không nhìn thấy nó chỉ vì ông quá mải mê tìm kiếm tính hài hòa và tính trật tự của vũ trụ, vốn là những thứ mà ông xem như quan trọng nhất. Lời giải của ông đối với bài toán chuyển động của các hành tinh đã được trình bày trong tác phẩm nổi tiếng "*Những nguyên lý toán học của triết học tự nhiên*" xuất bản năm 1687, là một lời giải bậc thầy, vừa bao quát vừa đầy đủ và trọn vẹn tới mức mà vũ trụ, trước kia tưởng như là huyền bí và bất định, thì nay, như nhờ có chiếc đũa thần, bỗng nhiên biến thành một bộ máy đồng hồ trơn tru dầu mỡ, trong đó mọi thứ bất định đều bị bác bỏ, mọi sự phóng túng đều bị loại trừ. Tác phẩm này có tiếng vang mạnh mẽ đến mức các nhà khoa học cùng thời với Newton và cả những người nối nghiệp ông cũng chưa bao giờ dám đặt lại vấn đề về cái thông điệp ngụ ý nói ở trên của nó. Thông điệp mà những người Hy Lạp đã từng tuyên bố dõng dạc và mạnh mẽ từ thế kỷ IX trước Công nguyên rằng: Tự nhiên được chi phối bởi các quy luật phổ biến mà trí tuệ loài người có thể lĩnh hội được. Niềm tin bồng bột và vô hạn vào tính hợp lý của thế giới đã vượt cả ra ngoài lĩnh vực vật lý và tràn vào mọi địa hạt hoạt động của con người trong suốt các thế kỷ tiếp theo. Nhờ có lý trí của mình mà con người hoàn thiện được các thiết chế xã hội và chính trị. Cuộc cách mạng công nghiệp, cuộc cách mạng ở Mỹ và ở Pháp vào cuối thế kỷ XVIII chính là những kết quả của niềm tin vô hạn đó vào trí tuệ con người.

Việc cái bất định lẩn khuất trong bóng tối, mà Newton không nhận thấy, không hề làm tổn hại gì đến thiên tài của ông. Trái lại, cần phải có trí tuệ chói ngời của ông mới có thể chọn lọc, và

trong vô vàn những thách thức của Tự nhiên, tách được riêng ra những bài toán mà trí tuệ con người có thể thuần phục được và có những lời giải hoàn toàn xác định. Newton biết rõ rằng tòa lâu đài lý thuyết đồ sộ mà ông xây dựng nên không thể giải thích được tất cả. Ví dụ, ông vô cùng bực tức vì đã không thể giải thích được các chuyển động của Mặt trăng luôn bị giằng co bởi lực hấp dẫn của Trái đất và của Mặt trời. Và phải đợi đến lúc xuất hiện thiên tài Poincaré thì bản chất hai mặt của các định luật cơ học của Newton mới được phát hiện ra. Nếu như bộ mặt đã được khám phá của các định luật này là hài hòa, thì bộ mặt còn ẩn giấu của chúng là hỗn độn. Nếu Newton là nhà tiên tri của trật tự thì Poincaré là nhà tiên tri của hỗn độn.

Sở dĩ Newton và Kepler nhận thức được sự hài hòa của thế giới, đó là bởi vì các ông sống trong Hệ Mặt trời và hệ này bị khống chế bởi khối lượng rất lớn của Mặt trời. Chính Mặt trời đã thao túng lực hấp dẫn và chi phối chuyển động của các hành tinh. Hoàn cảnh



Hình 25. *Hỗn độn trong một hệ ba vật*. Hai hình vẽ trên cho thấy độ phức tạp của quỹ đạo một hành tinh được đặt trong một hệ mặt trời bị khống chế không phải bởi một mặt trời như Hệ Mặt trời của chúng ta, mà bởi hai ngôi sao có khối lượng ngang nhau. Hành tinh khi đó sẽ đi theo một quỹ đạo cực kỳ phức tạp và không thể tiên đoán được, nghĩa là hỗn độn.

đó đã cho phép Newton xem bài toán về quỹ đạo của mỗi hành tinh quay quanh Mặt trời như một bài toán hai vật: Mặt trời và hành tinh đang xét. Nếu như Hệ Mặt trời của chúng ta có hai mặt trời thì bài toán lúc đó sẽ trở thành bài toán ba vật (hai mặt trời và hành tinh đang xét) và lúc đó hỗn độn sẽ buộc phải nhập cuộc (H. 25). Các hành tinh khi ấy ắt phải có những quỹ đạo thất thường không thể tiên đoán được. Và con người sống trên một trong các hành tinh ấy ắt sẽ không bao giờ cảm nhận thấy một chút hài hòa nào. Chắc hẳn họ cũng không bao giờ có ý niệm về các định luật chi phối vũ trụ cũng như ý niệm rằng việc tìm kiếm các định luật ấy rất phù hợp với trí tuệ con người. Vấn đề còn lại là: liệu trong một hệ thống hỗn độn, sự sống và ý thức có thể xuất hiện không?

Số học và các tiểu hành tinh

Như vậy là hỗn độn đang quẩn quanh đâu đó trong Hệ Mặt trời. Sự tồn tại giấu mặt của nó sẽ giúp chúng ta hiểu được nguồn gốc của các thiên thạch lớn có tên là các tiểu hành tinh và sao chổi, mà như chúng ta đã biết, đó là những tác nhân mạnh mẽ của sự ngẫu nhiên trong việc dựng nên thực tại. Nguồn gốc của chúng thực tế vẫn còn là một bí mật. Cách đây hai thế kỷ, một sơ đồ của Hệ Mặt trời chỉ bao gồm Mặt trời và sáu hành tinh khác (các hành tinh Thiên Vương, Hải Vương, Diêm Vương còn chưa được biết đến) và các "vị khách" thoáng hiện thoáng mất là các sao chổi. Các tiểu hành tinh lúc đó còn chưa bước vào thế giới thiên văn học. Sau này chúng mới đi vào là nhờ chút ít số học trong nghiên cứu bầu trời.

Kepler không phải là người duy nhất cho rằng các con số cai quản bầu trời và hành trạng của các hành tinh. Nhà thiên văn học người Đức là Johann Titius (1729-1796) cùng có chung ý nghĩ

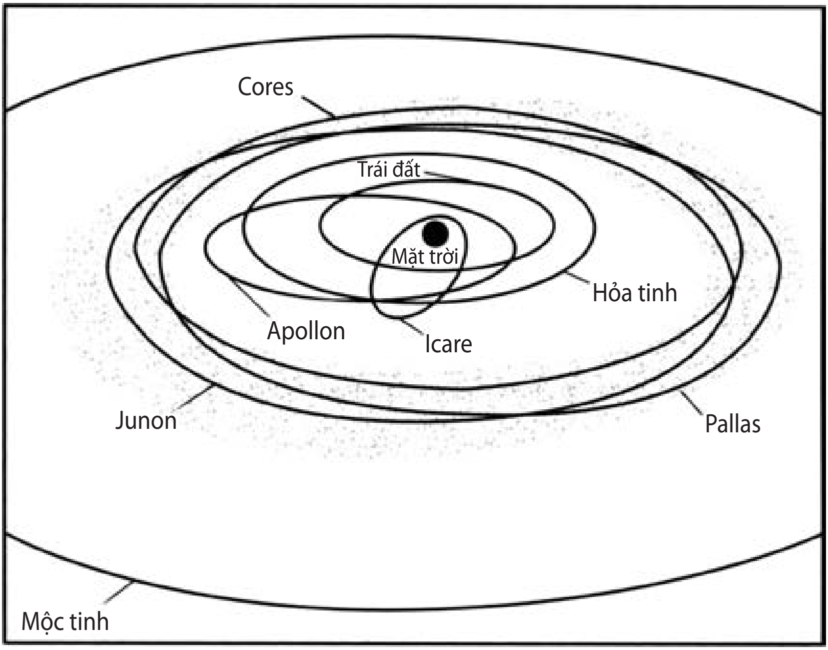
như vậy. Năm 1766 ông đưa ra một thủ pháp đơn giản để xác định khoảng cách của các hành tinh theo đơn vị là khoảng cách Trái đất - Mặt trời: bạn hãy bắt đầu bằng số 0 và 3, rồi sau đó cứ liên tiếp nhân đôi mỗi con số và bạn sẽ thu được dãy số: 0, 3, 6, 12, 24. Tiếp sau, bạn cộng mỗi con số đó với 4 và chia kết quả cho 10, dãy số trên sẽ trở thành: 0,4; 0,7; 1,0; 1,6; 2,8; 5,2 và 10,0. So sánh dãy số này với khoảng cách từ các hành tinh đến Mặt trời: 0,39 (Thủy tinh); 0,72 (Kim tinh); 1,0 (Trái đất); 1,52 (Hỏa tinh);(?); 5,20 (Mộc tinh) và 9,54 (Thổ tinh). Trừ chỗ có dấu (?) ra, còn thì sự phù hợp thật là tuyệt vời. Phương pháp của Titius đã tái tạo được một cách cực kỳ chính xác khoảng cách giữa Mặt trời và các hành tinh đã biết ở thời kỳ ấy. Tuy vậy, sự khám phá dựa vào số học này không gây được tiếng vang gì lớn và nó nhanh chóng rơi vào quên lãng. Nó chỉ được sống lại khi nhà thiên văn học Đức Johann Bode (1747-1826) "khai quật" và truyền bá rộng rãi trong công chúng vào năm 1772, khiến cho ngày nay nó được mang tên công thức Titius-Bode. Phương pháp này càng được mọi người tin cậy hơn nữa khi hành tinh Thiên Vương được phát hiện vào năm 1781 bởi nhà thiên văn học người Anh William Herschel (1738-1822) ở khoảng cách 19,2, trong khi khoảng cách đó tính theo công thức Titius-Bode là 19,6.

Tuy nhiên, vẫn còn một điều bí ẩn liên quan với chỗ có dấu (?) trong dãy số Titius. Theo logic thì như vậy có nghĩa là công thức Titius-Bode dự báo sự tồn tại của một thiên thể nằm giữa quỹ đạo của Hỏa tinh và Mộc tinh, ở khoảng cách gấp 2,8 lần khoảng cách Trái đất - Mặt trời. Thế nhưng, thiên thể đó vẫn vắng mặt một cách vô vọng. Và một cuộc tìm kiếm ráo riết hành tinh còn thiếu này đã được tổ chức. Năm 1801 nhà thiên văn học, cũng là một mục sư người xứ Sicile là Giuseppe Piazzi (1746-1826), trong thời

gian làm việc tại Đài thiên văn Palermo, đã phát hiện một thiên thể có độ sáng rất yếu nằm đúng ở khoảng cách mà công thức Titius-Bode dự báo. Thiên thể này quá mờ để có thể được coi là một hành tinh nhưng nó có chuyển dịch trên bầu trời so với các vì sao ở xa khác. Piazzi đặt tên cho nó là Ceres, tên của nữ chủ nhân đảo Sicile và nữ thần nông nghiệp trong thần thoại La Mã. Khám phá đầu tiên này được tiếp nối bởi hàng loạt khám phá khác nhờ sự sáng chế ra kính ảnh vào cuối thế kỷ XIX. Những thiên thể có độ sáng yếu ớt và dịch chuyển so với các vì sao đã tăng lên rất nhiều trong những năm tiếp theo. Ngày nay chúng ta biết rằng Ceres là một trong số những đại diện lớn nhất của hơn 1 triệu thiên thạch có bộ mặt nham nhở được gọi là các tiểu hành tinh. Các thiên thể này có quỹ đạo nằm giữa Hỏa tinh và Mộc tinh, tạo nên một loại Vành đai đá (H. 26). Có một vấn đề được đặt ra là các thiên thạch đông đúc đó phải chăng là các mảnh vụn của một hành tinh đã từng nổ tung thành nghìn mảnh trong những biến cố gây thảm họa trước kia? Giả thuyết này xem ra không được chấp nhận rộng rãi bởi vì nếu ghép các mảnh thiên thạch đó lại cũng không thể có được một hành tinh như Trái đất, mà chỉ là một quả cầu với đường kính gần bằng 1500 km, tức là nhỏ hơn một nửa Mặt trăng của chúng ta. Hơn nữa, chúng ta không hề có ý tưởng nào về những gì có thể làm một hành tinh vỡ thành từng mảnh. Có thể có lý hơn khi nghĩ rằng các mảnh vụn đó chưa bao giờ là một tập hợp chung cả, mà là những mảnh bị bỏ rơi trong quá trình kết tụ các tiểu thiên thể đã từng diễn ra cách đây 4,6 tỷ năm, khi Hệ Mặt trời mới ra đời.

Có thể nghĩ gì về công thức Titius-Bode? Công thức này đã ngạo nghễ vượt qua thử thách trong trường hợp hành tinh Thiên Vương và Vành đai các tiểu hành tinh. Nhưng liệu điều này có

ngụ ý rằng các con số đã chi phối sự sắp xếp các hành tinh? Phải chăng sự phù hợp giữa dãy số do công thức Titius - Bode đưa ra và khoảng cách từ các hành tinh đến Mặt trời không hề ngẫu nhiên thuần túy, mà đã được quy định ngay trong các định luật chi phối sự hình thành của các hành tinh? Liệu đối với những hệ hành tinh khác, quay xung quanh những mặt trời khác và ở trong những



Hình 26. *Vành đai các tiểu hành tinh*. Đa số các tiểu hành tinh quay quanh Mặt trời đều có quỹ đạo nằm giữa Hỏa tinh và Mộc tinh, cách Mặt trời một khoảng nằm giữa 2 và 3,5 lần khoảng cách Trái đất - Mặt trời. Chắc chắn Ceres là tiểu hành tinh lớn nhất với đường kính bằng 900km và khối lượng bằng 30% khối lượng của các tiểu hành tinh khác cộng lại. Nếu kết tập tất cả các tiểu hành tinh trong Vành đai đó thành một khối thôi thì kích thước của nó chỉ cỡ 1500km, tức là nhỏ hơn rất nhiều kích thước của một hành tinh. Vì thế các tiểu hành tinh không phải là các mảnh do một hành tinh vỡ ra mà là những mảnh vụn còn sót lại của Hệ Mặt trời lúc khởi thủy.

thiên hà khác, dãy các con số đó còn có thể áp dụng được không? Câu trả lời ở đây chắc chắn là không. Công thức Titius - Bode đã thất bại thảm hại trong các thử nghiệm sau đó. Hải Vương tinh là hành tinh đã được hai ông Urbain Le Verrier (1811-1877) người Pháp và ông Hohn Couch Adam (1819-1892) người Anh cùng phát hiện vào năm 1846. Nó có khoảng cách gấp 30,1 lần khoảng cách Trái đất - Mặt trời, chứ không phải là 38,8 như công thức đã dự kiến. Diêm Vương tinh là hành tinh ở xa Mặt trời nhất, đã được Clyde Tombaugh, người Mỹ, phát hiện vào năm 1930. Hành tinh này ở cách xa Mặt trời một khoảng bằng 39,3 lần khoảng cách Trái đất - Mặt trời, chứ không phải là 77,2 lần như dự kiến của công thức Titius - Bode. Sự không phù hợp của Diêm Vương tinh có thể giải thích được bởi vì các nhà thiên văn học cho rằng nó không phải là một hành tinh như những hành tinh khác, mà có lẽ nó là một thành viên nổi trội nhất trong số hàng nghìn thiên thạch phủ đầy băng đang bay trên những quỹ đạo ở ngoại vi Hệ Mặt trời. Chứng cớ là Diêm Vương tinh chỉ có khối lượng rất nhỏ (hai phần nghìn khối lượng Trái đất) và kích thước rất bé (66% đường kính Mặt trăng). Mặt khác, quỹ đạo của hành tinh này có độ nghiêng rất lớn: $17,1^o$ so với mặt phẳng Hoàng đạo, trong khi tất cả các hành tinh khác đều quay quanh Mặt trời trong mặt phẳng này. Ngoài ra, Diêm Vương tinh còn có một quỹ đạo lệch tâm nhiều nhất so với các hành tinh khác. Do đó điểm gần Mặt trời nhất trên quỹ đạo của nó lại ở gần Mặt trời hơn Hải Vương tinh khoảng 100 triệu kilômét...

Nếu sự thất bại của công thức Titius - Bode trong trường hợp Diêm Vương tinh có những tình tiết giảm nhẹ, thì trong trường hợp Hải Vương tinh, thất bại đó là không thể tha thứ được. Điều này đã khiến người ta ngờ rằng công thức Titius-Bode không phải

là một định luật cơ bản của Tự nhiên, bởi vì nếu là quy luật thì nó phải áp dụng được cho tất cả mọi hành tinh, không có ngoại lệ. Vậy có nên kết luận rằng đây chẳng qua chỉ là sự trùng hợp đơn giản của các con số? Khó có thể trả lời dứt khoát câu hỏi này, bởi vì dù sao công thức đó cũng đã chỉ ra được vị trí của 7 hành tinh và Vành đai tiểu hành tinh. Vấn đề vẫn còn phải tiếp tục nghiên cứu...

Các tiểu hành tinh và những quỹ đạo còn khuyết

Cho đến nay các nhà thiên văn học đã ghi được vào danh mục khoảng 5000 quỹ đạo của các tiểu hành tinh, trong số hàng triệu thiên thạch quần tụ trong Vành đai tiểu hành tinh. Do có quá nhiều, nên người ta cho rằng sẽ xảy ra rất nhiều va đập giữa các khối đá đó, trong khi chúng phóng vun vút trong không gian, theo những quỹ đạo elip xung quanh Mặt trời, ở khoảng giữa Hỏa tinh và Mộc tinh. Ý nghĩ đó hoàn toàn sai lầm. Không gian ở đây rộng bao la, rộng đến nỗi một tiểu hành tinh nào đó, tính trung bình, cũng ở cách xa tiểu hành tinh gần nó nhất nhiều triệu kilômét và vì vậy những cuộc đụng độ trực diện sẽ rất hiếm hoi.

Tuy nhiên, một điều huyền bí vẫn còn tồn tại trong vương quốc của các tiểu hành tinh. Nhà thiên văn học Mỹ Daniel Kirkwood, người tiến hành cuộc điều tra về quỹ đạo của các thiên thạch vào năm 1857, đã nhận thấy rằng một số quỹ đạo không có tiểu hành tinh nào! Các tiểu hành tinh lảng tránh một cách có hệ thống tất cả mọi quỹ đạo được gọi là "cộng hưởng" với quỹ đạo của Mộc tinh. Các quỹ đạo này có một chu kỳ (thời gian cần thiết để quay đúng một vòng quanh Mặt trời) là một tỷ phần nguyên (như ⅓, ½, v.v...) của chu kỳ Mộc tinh. Ví dụ, khi Mộc tinh cứ 12 năm lại quay được đúng một vòng quanh Mặt trời, thì một tiểu hành tinh có

chu kỳ 4 năm sẽ nằm trong mức cộng hưởng từ 3 đến 1 với hành tinh khổng lồ này. Và cứ 3 vòng quay trên quỹ đạo, tiểu hành tinh này lại ở vào vị trí đúng như cũ đối với Mộc tinh và chịu cùng một lực hấp dẫn của hành tinh đó. Hiện tượng cộng hưởng này chúng ta đã từng cảm nhận khi chơi đu thời còn niên thiếu. Để đu lên được độ cao lớn hơn và chuyển động qua lại của đu có biên độ lớn hơn, người chơi đu phải biết phối hợp cú nhún của mình với dao động của đu. Phải biết nhún đúng lúc đu đạt tới điểm cao nhất trong quỹ đạo của nó, trước khi đu quay trở về theo hướng ngược lại. Điều này có nghĩa là để dao động của đu có biên độ lớn hơn, người chơi cần phải nhún một cách "cộng hưởng" với dao động của đu. Nhún mà không biết phối hợp thì chẳng đi đến đâu, chiếc đu không bao giờ có thể lên cao được. Cũng giống như chiếc đu, tiểu hành tinh bị đẩy một cách cộng hưởng bởi lực hấp dẫn của Mộc tinh.

Kirkwoood cho rằng chính những xung lực lặp đi lặp lại này đã dần dần đẩy tiểu hành tinh ra khỏi quỹ đạo cộng hưởng của nó. Và chính điều này, theo ông, sẽ giải thích được những quỹ đạo còn khuyết. Tuy nhiên, sự giải thích này chưa thỏa đáng vì không đầy đủ: nó chưa nói gì về tương lai của tiểu hành tinh khi nó rời khỏi quỹ đạo cộng hưởng. Liệu nó có còn ở lại trong Vành đai tiểu hành tinh và cứ ngoan ngoãn đi theo quỹ đạo elip nằm giữa Thổ tinh và Hỏa tinh, hay là nó rời bỏ nơi ở cũ, lao ra cắt ngang quỹ đạo của Trái đất và Hỏa tinh, thậm chí đã từng giết hại một số khủng long? Các nhà thiên văn học không thể trường sinh bất lão để có thể theo dõi trực tiếp những thay đổi của quỹ đạo của các tiểu hành tinh. Những thay đổi này diễn ra trong khoảng thời gian cả trăm nghìn năm. Vì vậy, một lần nữa lại phải viện đến các phương trình vi phân của Newton để ngoại suy về tương lai của chúng. Nhưng một

lần nữa, chúng ta lại phải đương đầu với bài toán nhiều vật: chúng ta không những phải tính đến ảnh hưởng lực hấp dẫn của Mặt trời đối với tiểu hành tinh mà còn phải tính đến ảnh hưởng hấp dẫn của cả Mộc tinh và Hỏa tinh nữa. Như chúng ta đã thấy: bài toán này không giải được một cách chính xác. Các nhà thiên văn học đành phải cầu viện đến phương pháp "nhiễu loạn" để xử lý ảnh hưởng của Mộc tinh và Hỏa tinh, coi chúng như những thứ cộng thêm vào ảnh hưởng của Mặt trời, mà điều này không hoàn toàn là đúng. Cũng giống như đối với Mặt trăng, phương pháp này không đi đến đâu cả. Các nhà thiên văn đành phải bó tay và vấn đề các quỹ đạo khuyết hiện vẫn còn nguyên đó.

Các cuộc viếng thăm về phía trái đất

Vào năm 1970, bí mật của những quỹ đạo còn khuyết của các tiểu hành tinh lại trở thành vấn đề thời sự. Thật ra, vào thời gian đó đã diễn ra một sự kiện mới hết sức quan trọng. Đó là sự ra đời của máy tính điện tử và sức mạnh tính toán của nó lớn đến mức việc ngoại suy quỹ đạo của các tiểu hành tinh trong tương lai xa đến hàng trăm nghìn năm đã trở nên khả thi. Nhà khoa học Mỹ Jack Wisdom thuộc Học viện Công nghệ California (Caltech), đã lĩnh trách nhiệm xây dựng một mô hình Hệ Mặt trời trên máy tính. Ông đã đặt 300 tiểu hành tinh trên một quỹ đạo còn khuyết, quỹ đạo nằm trong sự cộng hưởng từ 3 đến 1 với Mộc tinh. Các tiểu hành tinh này có chu kỳ quay 4 năm, đúng bằng 1/3 chu kỳ của Mộc tinh (bằng 12 năm). Để có một "nhãn quan đại bàng" đối với toàn thể các tiểu hành tinh, Wisdom đã sử dụng những kỹ thuật do Henri Poincaré phát triển: chuyển động của các tiểu hành tinh được xem xét kỹ lưỡng không chỉ trong không gian thực

ba chiều, mà còn cả trong không gian toán học trừu tượng nhiều chiều, tức là không gian pha. Trong không gian trừu tượng đó, sự thay đổi vị trí và vận tốc của mỗi tiểu hành tinh được thể hiện bởi những khúc uốn lượn của quỹ đạo. Giống như Poincaré, Wisdom đã nhận được một cái nhìn đồng thời đối với cả một luồng 300 tiểu hành tinh bằng cách nghiên cứu các giao điểm của chúng với mặt phẳng Poincaré. Và cũng như Poincaré, Wisdom đã thoáng nhận thấy hỗn độn.

Trong không gian pha, các vùng hỗn độn – nơi chuyển động của các tiểu hành tinh hết sức lộn xộn và không thể tiên đoán được, còn tương lai thì bất định – nằm xen lẫn và chồng chéo với các vùng trật tự – nơi chuyển động của các tiểu hành tinh diễn ra một cách chính quy, có thể tiên đoán với tương lai được xác định một cách rõ ràng. Trong một số trường hợp, các tiểu hành tinh ngoan ngoãn lặp đi lặp lại các vòng quay của chúng theo những quỹ đạo quanh Mặt trời; qua hàng trăm ngàn năm cũng không có thay đổi gì quan trọng. Trong một số trường hợp khác, sau cả trăm nghìn năm chuyển động một cách yên ổn, bỗng dưng tiểu hành tinh chuyển từ quỹ đạo elip nằm giữa Hỏa tinh và Mộc tinh sang một quỹ đạo khác, đưa nó về hướng Hỏa tinh và Trái đất. Các cuộc "dạo chơi" này chứa đựng nhiều nguy cơ. Các tiểu hành tinh ấy đôi khi va đập vào Trái đất hoặc Hỏa tinh. Máy tính đã hé lộ cho Wisdom thấy rằng cứ 5 tiểu hành tinh trên quỹ đạo cộng hưởng từ 3 đến 1 với Mộc tinh, thì 1 có thể đột ngột tách khỏi quỹ đạo quen thuộc của nó để đổ bộ vào một quỹ đạo hoàn toàn hỗn độn trong vòng nửa triệu năm. Và như vậy đã có thể giải thích được điều bí mật của các quỹ đạo còn khuyết. Sự thực, các quỹ đạo này ở trong các vùng hỗn độn, tại đó những thay đổi nhỏ nhất của vị trí và vận tốc cũng có thể dẫn đến những quỹ đạo hoàn toàn khác. Các quỹ

đạo hỗn độn này đã đưa các tiểu hành tinh về phía Hỏa tinh hoặc Trái đất và để trống các quỹ đạo cộng hưởng trong Vành đai tiểu hành tinh. Như vậy, vai trò của Mộc tinh không phải là đẩy các tiểu hành tinh ra khỏi quỹ đạo quen thuộc của chúng bằng một loạt những cú hích hấp dẫn như Kirkwood đã từng nghĩ, mà bằng lực hấp dẫn của mình, nó tạo ra những điều kiện hỗn độn làm thay đổi quỹ đạo của các tiểu hành tinh.

Một lần nữa chúng ta lại thấy rằng định luật vạn vật hấp dẫn, một định luật hoàn toàn mang tính tất định của Newton, đã chứa đựng chính những mầm mống của hỗn độn. Không có một chút "điên rồ" này thì lực hấp dẫn của Newton cũng không bao giờ có thể đưa các "vị khách" của Vành đai tiểu hành tinh đến được với chúng ta. Và nếu không có hỗn độn náu mình trong bóng tối, thì chắc loài khủng long vẫn còn ngự trị trên Trái đất này, và Mặt trăng cũng không hiện diện để rải ánh sáng dịu dàng của nó xuống các cặp tình nhân đang ngồi tình tự trong đêm.

Liệu con sâu có gặm hết quả táo?

Nhưng nếu những phương trình Newton chứa đựng ở nơi sâu kín nhất của nó những mầm mống của hỗn độn thì chuyển động của các hành tinh trong Hệ Mặt trời sẽ ra sao? Nếu hỗn độn đã xâm chiếm khu vực các tiểu hành tinh thì tại sao nó lại không làm như thế đối với các hành tinh? Và nếu con sâu đã ở bên trong quả táo thì tại sao nó lại không gặm hết quả táo này? Đối mặt với những bất trắc và luôn thay đổi của cuộc sống hàng ngày, những chuyển động không ngừng của các hành tinh, mà dưới con mắt của loài người luôn luôn tượng trưng cho tính vĩnh cửu và tính bất di bất dịch, liệu có chứa đựng cái hỗn độn và cái không thể tiên

đoán được? Cơ học thiên thể, dường như quá trơn tru dầu mỡ, liệu có chứa đựng những mầm mống hủy hoại nó hay không? Hệ Mặt trời, xem chừng rất bền vững trong vòng nhiều nghìn năm, liệu trên thực tế có thể mất đi tính bền vững trong những khoảng thời gian dài hơn nữa không?

Vấn đề về sự bền vững của Hệ Mặt trời không có gì là mới mẻ cả. Nó đã từng là vấn đề có tính thời sự từ hơn 200 năm trước. Nhà thiên văn và toán học người Pháp Pierre Simon, hầu tước Laplace (H. 27) là một trong số những người đầu tiên đem lại một phần của câu trả lời.

Một người trẻ tuổi hăm hở

Sinh năm 1749 tại một trang trại ở Normandie, từ rất sớm Laplace đã tỏ ra rất có năng khiếu về toán học. Sau thời gian học tập xuất sắc tại trường Đại học Caen, năm 20 tuổi ông tới Paris để gặp gỡ những trí tuệ vĩ đại đương thời và để rèn giũa vũ khí của – mình. Cầm trong tay những bức thư giới thiệu hùng hồn của các giáo sư từng dạy mình, ông đã đến gõ cửa nhà toán học và triết học Jean d'Alembert (1717-1783), một trong những nhân vật nổi bật nhất trong giới đại học Pháp đương thời. Ông này hiện cũng đang tập trung nghiên cứu các bài toán của cơ học thiên thể, đặc biệt là những bí mật trong chuyển động của Mặt trăng. Với bộ óc xuất sắc của mình, ông rất nổi tiếng trong việc hỗ trợ các tài năng trẻ có nhiều hứa hẹn. D'Alembert ban đầu từ chối không chịu tiếp Laplace và cho người nói với anh rằng những người muốn gặp ông ta với những bức thư giới thiệu không đáng để ông quan tâm. Không nản lòng, Laplace quay về nhà viết một chuyên luận dài về những nguyên lý chung của cơ học, rồi đến trình cho ông. Tính

độc đáo của tư duy và sự vững vàng trong việc trình bày vấn đề của Laplace đã ngay tức khắc chinh phục được D'Alembert hoàn toàn. Ông đã mở rộng cửa để đón nhận Laplace và từ đó hết lòng giúp đỡ chàng trai. Sự giúp đỡ của ông to lớn và hiệu quả tới mức chỉ trong vòng ít ngày Laplace đã được bổ nhiệm làm giáo sư toán học tại Trường quân sự.

D'Alembert đã không phải hối tiếc về quyết định của mình, bởi vì từ lúc đó cho đến khi tạ thế năm 1827, Laplace đã làm hơn những gì cần thiết để đáp lại niềm tin mà nhà khoa học lão thành đã dành cho mình. Ông tỏ ra xuất sắc không chỉ trong các lĩnh vực thiên văn học và toán học, mà còn ở chỗ hết sức nhạy bén về mặt chính trị trong thời gian xảy ra những biến động to lớn của lịch sử nước Pháp, từ Cách mạng đến Đế chế, rồi đến Phục hưng, mà không bao giờ phải lo lắng, cũng như không để mất những ưu đãi mà các nhà lãnh đạo đương quyền dành cho ông. Napoleon Bonaparte thậm chí đã bổ nhiệm ông làm Bộ trưởng Nội vụ năm 1799. Song những năng khiếu rất quý báu đối với ông trong lĩnh vực khoa học (sự chính xác, tính cẩn thận, tỉ mỉ, luôn luôn lật lại các vấn đề) đã gây thiệt hại cho ông với tư cách là một bộ trưởng. Sau này khi bị lưu đày ở đảo Saint Hélène, Napoleon đã viết về vị cận thần của mình như sau: "Ông ta không thể nhìn lướt qua một vấn đề, vì ở đâu ông ta cũng thấy những điều tế nhị". Nói theo ngôn ngữ hiện đại, Laplace chỉ làm tốt "quản lý vi mô" nên không bao giờ ra được quyết định cả. Ông chỉ giữ chức bộ trưởng trong sáu tuần, song Napoleon vẫn rất ưu ái ông; sau này Napoleon đã ban cho ông tước hầu. Hoàng đế luôn thừa nhận cái uy tín mà các nhà khoa học lớn đã đem lại cho vương triều của Ngài. Trong khuôn khổ của cuộc cạnh tranh thường trực giữa nước Pháp và nước Anh, Napoleon luôn hài lòng vì đã có bên cạnh mình Laplace, một "Newton của nước Pháp".



Hình 27. *Pierre Simon de Laplace, người ngợi ca quyết định luận*. Hình trên là bức tranh in litô ở thế kỷ XIX vẽ Laplace đang ngồi đọc tác phẩm *Cơ học thiên thể* của mình. Laplace cho rằng vũ trụ là hoàn toàn tất định, nó hoạt động như một bộ máy đồng hồ, bị chi phối bởi các định luật toán học chính xác. Laplace có những đóng góp không chỉ trong việc tìm hiểu chuyển động của các hành tinh. Ông còn là một trong số những người đầu tiên nói về lỗ đen mà ông gọi là các "tinh tú kín mít".

Không cần tới giả thuyết về sự tồn tại của Chúa

Nếu cuộc phiêu lưu chính trị ngắn ngủi không phải là điều thành đạt nhất của ông thì, trái lại, sự nghiệp khoa học của Laplace đặc biệt thành công. Ngay từ năm 1873 ông đã lao vào giải quyết bài toán về tính bền vững của Hệ Mặt trời. Đây là bài toán vô cùng đồ sộ bởi vì cần phải đồng thời tính đến tương tác hấp dẫn của Mặt trời và sáu hành tinh đã biết. Nếu như bài toán ba vật đã khó giải rồi, làm sao có thể giải nổi bài toán có tới bảy vật?

Vào thời đó, người ta đã biết rằng có nhiều hành tinh ngang ngạnh không hoàn toàn tuân theo các phương trình Newton và luôn phô bày ra những điểm bất thường trong chuyển động của chúng. Newton cho rằng những sai lệch này có thể dẫn đến sự nổ tung của cả Hệ Mặt trời, trừ phi thi thoảng, như nhờ một phép thuật (Newton thậm chí còn đi tới mức cầu xin sự can thiệp của thần thánh), con lắc đồng hồ được đặt lại cho đúng giờ.

Mộc tinh và Thổ tinh là hai hành tinh tỏ ra đặc biệt bướng bỉnh. Cứ sau 1000 năm Mộc tinh lại đi chệch vị trí theo tính toán của nó gần 1^o (bằng hai lần kích thước góc của trăng tròn), trong khi Thổ tinh chệch hơn 2^o so với vị trí lẽ ra nó phải xuất hiện ở đó theo tính toán. Chàng trai Laplace đã tấn công bài toán này và chứng minh được rằng có sự cộng hưởng giữa hai hành tinh: Thổ tinh quay hai vòng quanh Mặt trời trong một thời gian gần đúng bằng thời gian mà Mộc tinh cần để quay năm vòng, khiến cho cứ sau khoảng 59 năm thì hai hành tinh này lại gần như ở cùng một nơi trên mặt phẳng Hoàng đạo. Giống như chiếc đu bay lên mỗi lúc một cao hơn, khi được đẩy bằng lực cộng hưởng với chuyển động đung đưa của nó, các cuộc gặp gỡ theo chu kỳ của Mộc tinh và Thổ tinh cũng vậy. Chúng tạo ra những xung lực hấp dẫn lặp

đi lặp lại, và những xung lực này cứ tích lũy dần theo thời gian để rồi cuối cùng sẽ làm cho các hành tinh đi chệch khỏi các quỹ đạo quen thuộc của chúng. Điều căn bản là Laplace đã chứng minh được rằng sự đi chệch này không thể tăng lên mãi mãi. Chúng đạt tới mức tối đa rồi dần dần hạ xuống mức tối thiểu, để rồi lại tăng lên mức tối đa mới, tất cả diễn ra trong một chu kỳ 900 năm. Tất cả những gì bất bình thường đều bị kiềm chế, những cái thái quá cũng bị chặn lại. Chúng không thể tích tụ lại mãi để trở thành quá lớn đến mức có thể làm nổ tung cả Hệ Mặt trời. Theo Laplace, các hành tinh sẽ xoay quanh Mặt trời mãi mãi cho tới khi thời gian chấm hết. Đối với ông, Hệ Mặt trời là một bộ máy đồng hồ vũ trụ tuyệt diệu, một bộ máy trơn tru dầu mỡ và vận hành chỉ theo lực vạn vật hấp dẫn mà thôi. Trong tác phẩm nổi tiếng *Luận về cơ học thiên thể* của mình, Laplace đã ra sức chứng minh toán học điều hành thế giới như thế nào, và định luật vĩ đại của Tự nhiên do Newton khám phá ra có thể giải thích một cách chính xác tuyệt vời những chuyển động khác nhau nhất, từ quả táo rụng trong vườn đến chuyển động của Mặt trăng quanh Trái đất. Chính qua công trình này ông đã tuyên bố một cách lạc quan và mạnh mẽ rằng: một trí tuệ có khả năng biết được các lực chi phối hoạt động của các vật trong Tự nhiên và vị trí của chúng tại một thời điểm nào đó, hoàn toàn có thể hiểu được cùng một lúc cả quá khứ, hiện tại và tương lai của vũ trụ. Không có gì là bất định hết. Chiếc đồng hồ vũ trụ trơn tru dầu mỡ tự nó có thể vận hành. Bất cứ một sự can thiệp nào của thần thánh đều là không cần thiết. Khi Laplace trình lên Napoleon cuốn sách *Cơ học thiên thể*, vị Hoàng đế hỏi ông rằng tại sao không thấy ông nói gì đến Đấng tối cao cả, ông đã kêu lên: "Tâu bệ hạ, thần không cần đến giả thuyết về sự tồn tại của Chúa".

Hệ hành tinh số

Uy tín và tiếng tăm của Laplace cùng với những tác phẩm có tính phổ biến của ông quả là đã góp phần lớn lao vào việc truyền bá các ý tưởng của ông trong quảng đại quần chúng (chính ông là người đã đưa thuật ngữ *cơ học thiên thể* vào ngôn ngữ vật lý). Các quan điểm quyết định luận của ông đã được nhiều nhà toán học, triết học và nhiều bộ óc xuất sắc đương thời bàn thảo trong các salông ở Paris. Một sự phản bác thường được nêu lên là: Liệu Hệ Mặt trời có ổn định và vĩnh cửu như Laplace quan niệm không? Laplace đã chứng minh rằng những sai chệch của các hành tinh so với quỹ đạo lý tưởng của chúng chỉ là rất nhỏ và mãi mãi là nhỏ. Tuy nhiên, có rất nhiều ví dụ trong cuộc sống hằng ngày cho thấy một nguyên nhân nhỏ bé có thể dẫn tới những hậu quả to lớn. Có nhà leo núi nào lại chưa từng nhìn thấy cảnh một hòn đá nhỏ rơi xuống cũng có thể tạo ra cả một tai họa tuyết lở? Tương tự, chúng ta đều biết tình trạng cân bằng mỏng manh của một đống cát: chỉ cần rắc lên trên thêm một ít hạt nữa là cả đống cát có thể đổ sụp. Vậy thì thậm chí với một độ chệch nhỏ thôi, liệu quỹ đạo của các hành tinh có thể trở nên không bền vững? Liệu các hành tinh có thể va đập vào nhau và văng ra ngoài Hệ Mặt trời? Cho dù quyền uy của Laplace rất to lớn song sự nghi ngờ vẫn còn đó. Bản thân Laplace cũng phải thừa nhận rằng các định luật của Newton không thể giải thích được tất cả. Ví dụ Mặt trăng vẫn khăng khăng bướng bỉnh không chịu khuất phục trước các phương trình Newton. Liệu trong lý thuyết của nhà vật lý vĩ đại người Anh này còn có một khía cạnh nào đó mà ông chưa nắm bắt được?

Sự nghi ngờ đó cứ dai dẳng mãi trong suốt thế kỷ tiếp sau. Nó chỉ tìm thấy chỗ dựa sau khi Henri Poincaré đã khám phá ra hỗn độn vào cuối thế kỷ XIX. Như chúng ta đã thấy ở phần trên, khi

giải bài toán ba vật, Poincaré đã nhận thấy có nhiều vùng hỗn độn kề cận và xen kẽ với các vùng trật tự. Sự khám phá này cho thấy khả năng Hệ Mặt trời có thể đột ngột chuyển từ trạng thái trật tự sang trạng thái hỗn độn, và như vậy là nó chứa đựng mầm mống của sự tự hủy diệt.

Bạn có thể nói với tôi rằng để giải tỏa nỗi lo lắng trong lòng, chúng ta chỉ cần ngoại suy phương trình các quỹ đạo hành tinh của Newton trong tương lai xa. Cố gắng lắm, Laplace cũng chỉ đưa được Mộc tinh và Thổ tinh đến tương lai khoảng vài chu kỳ 900 năm, mà thực tế chỉ là một chớp mắt so với lịch sử của Hệ Mặt trời. Hệ này đã có quá khứ 4,6 tỷ năm và có thể còn tồn tại trong một thời gian dài như thế nữa. Thảm họa duy nhất được dự báo sẽ xảy ra trong vòng 4,5 tỷ năm nữa, khi mà Mặt trời biến thành một sao "kềnh đỏ". Vào lúc đó, Mặt trời đã ngốn hết chất đốt hyđro và bắt đầu dùng đến lượng hêli dự trữ. Nguồn năng lượng mới này sẽ làm cho Mặt trời phình to lên gấp trăm lần kích thước hiện nay của nó. Lớp bao nóng bỏng của ngôi sao "kềnh đỏ "này sẽ nuốt chửng cả Thủy tinh và Kim tinh. Những cư dân của Trái đất sẽ nhìn thấy bầu trời rực đỏ với sức nóng thiêu hủy mọi sự sống. Để sống sót, những hậu duệ của chúng ta sẽ phải di cư ra phía ngoài Hệ Mặt trời, đến tận Diêm Vương tinh chẳng hạn, nơi rất xa những vòi lửa của sao "kềnh đỏ" đó.

Nhưng làm thế nào có thể ngoại suy các phương trình đến tương lai? Như chúng ta đã biết, bài toán ba vật không thể có nghiệm đại số chính xác. Huống hồ đây lại là bài toán mười vật (Mặt trời và chín hành tinh). Vậy là đại số không thể giúp ích gì được, các nhà thiên văn học phải cầu viện đến một đồng minh vô giá của vật lý thiên văn hiện đại, đó là máy tính. Song ngay cả những tính toán trên máy tính cũng vấp phải những khó khăn ghê gớm. Lý do thì

có rất nhiều. Trước hết, các hành tinh chuyển động quanh Mặt trời với những nhịp điệu rất khác nhau. Hành tinh càng xa Mặt trời bao nhiêu thì thời gian cần để quay một vòng quanh Mặt trời càng dài bấy nhiêu (đây là một trong những định luật Kepler: chu kỳ quay tỷ lệ với lũy thừa bậc $\frac{3}{2}$ của khoảng cách Mặt trời - hành tinh). Do vậy Thủy tinh, hành tinh gần Mặt trời nhất chỉ cần 88 ngày để quay hết một vòng quanh Mặt trời, đúng như cái biệt danh của nó là "sứ giả nhanh nhẹn của các thần". Trái lại, hành tinh xa nhất là Diêm Vương tinh lại chậm như rùa, phải mất 248 năm nó mới quay được một vòng. Do vậy, khi người ta muốn theo dõi quá trình tiến hóa của Hệ Mặt trời trong tổng thể của nó thì thứ giữ nhịp chính là hành tinh có chu kỳ quay ngắn nhất (trong trường hợp đang xét là Thủy tinh). Vì Thủy tinh cần phải được theo dõi trên đường đi của nó quanh Mặt trời ngày này qua ngày khác, nên cũng cần theo dõi hành trạng của Diêm Vương tinh đúng như thế. Song điều này đòi hỏi phải tốn rất nhiều tính toán đối với các hành tinh ở vành ngoài của Hệ Mặt trời, bởi vì nhịp điệu của chúng chậm hơn hàng trăm, thậm chí hàng nghìn lần so với nhịp điệu của Thủy tinh. Đối với Diêm Vương tinh lẽ ra chỉ cần theo dõi vài năm một lần, chứ không cần phải vài ngày một lần. Giống như bạn muốn chụp ảnh cuộc chạy thi giữa thỏ và rùa, do sự nhanh nhẹn của thỏ, để nghiên cứu vị trí tương ứng của hai con vật, bạn phải chụp cả hai con vài phút một lần. Vị trí của con thỏ thay đổi rất nhiều từ tấm ảnh này qua tấm ảnh khác, trong khi vị trí của con rùa dường như chỉ hơi nhúc nhích. Vì vậy phải tốn rất nhiều phim ảnh đối với con rùa.

Ngoài vấn đề này ra, sự săn tìm hỗn độn cũng sẽ chẳng phát hiện được điều gì thực sự lý thú nếu như người ta chưa theo dõi được nó trong một tương lai xa hàng trăm nghìn năm, hàng triệu năm, thậm chí hàng tỷ năm. Nghĩa là cần phải có những máy tính với

khả năng tính toán phi thường. Trong những năm 1970, các máy tính tân tiến nhất lúc đó cũng không có được khả năng ấy. Không còn cách nào hơn, các nhà nghiên cứu đành phải tính toán trên "hệ mặt trời - đồ chơi", trong đó người ta tước bớt đi các hành tinh vòng trong và chỉ tính đến các hành tinh vòng ngoài (như Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên Vương tinh, Hải Vương tinh và Diêm Vương tinh), điều này cho phép người ta không cần đếm xỉa đến con thỏ mà chỉ chụp và nghiên cứu con rùa thôi, nhờ đó việc tính toán các quỹ đạo sẽ nhanh lên rất nhiều. Thay vì phải hằng ngày theo dõi các hành tinh, người ta có thể nhảy cóc những bước rất dài theo thời gian, nhiều năm một lần. Tuy nhiên, ngay cả với Hệ Mặt trời đã bị tước bớt như thế, đến cuối năm 1983, các nhà nghiên cứu cũng chỉ có thể đi tới tương lai xa nhất là 5 triệu năm. Trong khoảng thời gian đó, người ta không thấy xuất hiện một hiện tượng hỗn độn nào. Vậy thì liệu Hệ Mặt trời có bền vững mãi mãi và sự quay của các hành tinh có vĩnh hằng như Laplace đã khẳng định không?

Năm 1984 vấn đề này lại nổi lên rầm rộ khi hai nhà nghiên cứu người Mỹ làm việc tại MIT (Học viện Công nghệ Massachusetts) là Jack Wisdom (chính là người đã lôi hỗn độn ra khỏi hang ổ của nó trong Vành đai các tiểu hành tinh) và Gerald Sussman đưa vào sử dụng một máy tính được thiết kế đặc biệt để tính toán các quỹ đạo hành tinh, mà họ gọi là "hệ hành tinh số". Cũng giống như những máy móc kỳ diệu của thế kỷ XVIII và XIX, máy tính "hành tinh số" cũng tái tạo được chuyển động của các hành tinh. Chỉ có điều, thay vì một tập hợp những quả cầu kích thước khác nhau được lắp trên những thanh thép, quay với những vận tốc khác nhau quanh một tâm điểm, nhờ một hệ thống bánh răng tinh xảo và chính xác như một chiếc đồng hồ, "hệ hành tinh số" được làm bằng những mạch điện tử và các hành tinh được biểu hiện bằng những con số.

Tuy nhiên, trước khi du hành vào tương lai của Hệ Mặt trời với "hệ hành tinh số", cần phải bằng mọi giá bảo đảm được rằng mọi sự bất bình thường hoặc sự đi chệch quỹ đạo bình thường của một hành tinh là có thật chứ không phải là do bộ nhớ hạn chế của máy tính gây ra. Thực tế, máy tính này không thể lưu trữ trong bộ nhớ của nó những con số dài vô tận. Nó tất yếu phải cắt bớt và làm tròn các con số đó. Ví dụ, nếu máy tính chỉ có thể lưu trữ trong bộ nhớ 6 chữ số sau dấu phẩy, thì con số 1,4576952 sẽ được làm tròn thành 1,457695. Sai số đối với một con số đó thôi là cực nhỏ, song nó sẽ tích tụ lại và trở thành khổng lồ sau hàng triệu phép toán do máy tính thực hiện. Những sai số này khi đó có thể sẽ gây ra cho các quỹ đạo những điều bất bình thường giả tạo không có liên quan gì với thực tế cả. Cũng còn một nguyên nhân khác dẫn đến sai số, đó là chuyển động của các hành tinh vốn diễn ra liên tục, trong khi việc giải các phương trình trên máy tính, về bản chất, lại là một quá trình không liên tục: người ta chia thời gian thành những khoảng nhỏ và bắt các hành tinh di chuyển bằng những bước nhảy nhỏ từ khoảng thời gian này sang khoảng thời gian khác. Như vậy thì làm thế nào để có thể bảo đảm được rằng các sai số ấy vẫn luôn là nhỏ và không đưa tới những kết luận sai lạc?

Có một cách là làm cho hành tinh thực hiện một chuyến khứ hồi theo thời gian. Ví dụ, nhờ vào các tính toán, người ta đưa Diêm Vương tinh đi tới tương lai xa khoảng 200 triệu năm sau; sau đó người ta đảo ngược thời gian để cho nó quay ngược trở lại 200 triệu năm. Một sự tính toán sẽ là hoàn hảo, không có sai số, nếu như hành tinh trở lại đúng nơi mà nó xuất phát. Trái lại, nếu có những sai số lớn thì vị trí xuất phát và vị trí trở lại của hành tinh sẽ hoàn toàn khác nhau. Bằng cách giảm các sai số đến mức thấp nhất, Wisdom và Sussman đã đạt được một thành công thật sự

khi đưa được Diêm Vương tinh đến một tương lai xa tới 845 triệu năm, rồi cho nó quay trở lại và vị trí mà nó trở lại chỉ lệch có $\frac{1}{6}$ độ so với vị trí xuất phát ban đầu (tức $\frac{1}{3}$ kích thước góc của Mặt trăng rằm). Do sai số nhỏ như vậy, nên có thể dùng kịch bản này để săn tìm hỗn độn trong lòng Hệ Mặt trời.

Diêm Vương tinh không thể tiên đoán

Hai nhà nghiên cứu đã thực hiện cuộc viễn du đầy sóng gió xuyên qua thời gian và đi tới 845 triệu năm trong tương lai của Hệ Mặt trời, tức là bằng $\frac{1}{5}$ tuổi hiện nay của nó. Một lần nữa, để tránh vấn đề thỏ và rùa, họ đã phải tước bỏ các hành tinh vòng trong (gồm Thủy tinh, Kim tinh, Trái đất và Hỏa tinh). Cho dù đã cắt bớt như thế, nhưng máy tính "hệ hành tinh số" vẫn phải tính toán trong 5 tháng liên tục mới hoàn thành chuyến du hành đó trong thời gian. Trong khoảng thời gian dài như vậy, liệu cuối cùng hỗn độn có xuất hiện hay không? Liệu quỹ đạo của các hành tinh có bị hỗn độn xâm chiếm hay không? Đối với đa số các hành tinh, câu trả lời là không. Hỗn độn vẫn không lộ mặt trong trường hợp của bốn hành tinh khổng lồ (Thổ tinh, Mộc tinh, Thiên Vương tinh và Hải Vương tinh). Các hành tinh này cũng có bộc lộ những thay đổi về độ nghiêng, về định hướng và hình dáng các quỹ đạo, song sự thực không có gì quan trọng lắm... Chỉ riêng có Diêm Vương tinh, hành tinh ở xa Mặt trời nhất và tên của nó ngày xưa đã được đặt cho vị thần địa ngục là không có sự ngoan ngoãn mẫu mực như thế.

Diêm Vương tinh luôn luôn lạc lõng giữa các hành tinh ở vòng ngoài: nhỏ bé (chỉ bằng $\frac{1}{5}$ kích thước Trái đất) giữa những hành tinh khổng lồ (Mộc tinh có đường kính gấp 11 lần Trái đất), Diêm Vương tinh không quay trong mặt phẳng Hoàng đạo như tất cả

các hành tinh khác. Nghiêng tới 17°, quỹ đạo của nó là quỹ đạo lệch tâm nhất, vì vậy có lúc nó ở gần Mặt trời hơn cả Hải Vương tinh. Chẳng hạn, vào năm 1989, khi Diêm Vương tinh đi cắt ngang quỹ đạo của Hải Vương tinh, nó đã đến gần Mặt trời hơn 100 triệu kilômet so với hành tinh này. Do có sự giao nhau của hai quỹ đạo, người ta đã quan ngại về nguy cơ xảy ra va đập giữa Hải Vương tinh và Diêm Vương tinh. Nhưng điều đó chưa bao giờ xảy ra. Hai hành tinh này tránh nhau rất tài tình do có sự cộng hưởng giữa hai chuyển động: Hải Vương tinh quay được ba vòng xung quanh Mặt trời thì Diêm Vương tinh mới chỉ quay được hai vòng, do đó khi Hải Vương tinh cắt ngang quỹ đạo của Diêm Vương tinh thì hành tinh này luôn ở đầu bên kia quỹ đạo elip của nó, tức là rất xa với Hải Vương tinh.

Cuộc du hành của Wisdom và Sussman tới tương lai đã cho phép họ nhận thấy rằng đối với Diêm Vương tinh còn có những cộng hưởng khác. Chẳng hạn, góc nghiêng của quỹ đạo Diêm Vương tinh dao động với những chu kỳ từ 3,8 đến 34 triệu năm. Hơn nữa, điểm trên quỹ đạo của nó ở gần Mặt trời nhất (được gọi là điểm cận nhật) thì cứ sau 3, 7, 37 và 137 triệu năm lại trở về đúng chỗ cũ. Tuy nhiên, mặc dù có những thay đổi tuần hoàn như vậy, Diêm Vương tinh vẫn ương bướng không chịu lồng lên mà cứ lặng lẽ đi theo con đường của nó xung quanh Mặt trời.

Song phải chăng những bất thường có tính chu kỳ đó muốn nói với chúng ta rằng Diêm Vương tinh thực sự đã ở bên bờ của hỗn độn? Và phải chăng chỉ cần một lực cỏn con cũng có thể làm cho nó lật ngược từ trật tự sang hỗn độn, từ phẳng lặng sang náo động? Phải chăng Diêm Vương tinh ở trong tình trạng giống như một đống cát chất cao, chỉ cần một hạt thêm vào nữa là cả đống cát sụp xuống?

Để cho yên lòng, Wisdom và Sussman đã tiến hành một thí nghiệm như sau: hai ông đặt hai Diêm Vương tinh tưởng tượng bên cạnh nhau với vận tốc và vị trí gần như nhau, rồi theo dõi quỹ đạo của chúng trong không gian pha trừu tượng bằng máy tính "hành tinh số". Nếu những quỹ đạo này ngày một tách ra xa nhau tức là hỗn độn hiện diện. Còn nếu chúng bám sát theo nhau, nghĩa là không có hỗn độn. Trong thí nghiệm trên, hai Diêm Vương tinh tưởng tượng thực sự có quỹ đạo tách ra xa nhau theo hàm số mũ. Khoảng cách giữa hai Diêm Vương tinh này cứ sau 2 triệu năm lại tăng gấp đôi, và cứ tăng như thế mãi mãi. Sau 25 triệu năm, khoảng cách ban đầu sẽ tăng gần 5800 lần. Như vậy, chuyển động của Diêm Vương tinh là không thể tiên đoán được. Chỉ cần một sự thay đổi nhỏ của vận tốc hoặc vị trí là có thể dẫn đến một quỹ đạo hoàn toàn khác. Rõ ràng hỗn độn đã hiện diện trong chuyển động của Diêm Vương tinh.

Song điều này không nhất thiết có nghĩa ngày mai chúng ta sẽ thấy Diêm Vương tinh đi đến gần Trái đất, hoặc sẽ nổ tung khi va vào Hỏa tinh, hoặc sẽ rời bỏ vĩnh viễn Hệ Mặt trời. Dẫu sao thì 4 tỷ năm qua, Diêm Vương tinh vẫn bình yên xoay quanh Mặt trời. Rõ ràng ở Diêm Vương tinh xuất hiện hỗn độn, nhưng nó bị kiềm chế và kiểm soát. Có thể chính nó đã là nguyên nhân làm cho quỹ đạo của hành tinh này trở thành rất đặc biệt như vậy. Người ta cho rằng Diêm Vương tinh đã được sinh ra trên mặt phẳng Hoàng đạo như các hành tinh chị em của nó, và trải qua một loạt những trạng thái hỗn độn để rồi cuối cùng nó rơi vào quỹ đạo hiện nay.

Việc khám phá ra hỗn độn ở Diêm Vương tinh đã gợi lên một câu hỏi có liên quan đến tất cả các hành tinh khác. Có phải hỗn độn chưa biểu hiện ra ở chúng chỉ là vì máy tính "hệ hành tinh số" chưa tính được đủ xa trong tương lai? Xét cho đến cùng thì hỗn

động cũng thích có bạn chứ. Đó là tính hay lây mà! Đến một lúc nào đó sẽ ra đời một loại máy tính mới mạnh hơn, có khả năng đưa cả hệ thống Mặt trời với 9 hành tinh của nó đi vào tương lai còn xa hơn nữa...

Tương lai bất định của Hệ Mặt trời

Bó đuốc này bây giờ lại được trao cho một nhà khoa học người Pháp làm việc tại Cơ quan kinh tuyến ở Paris tên là Jacques Laskar. Cơ quan đáng kính này được thành lập từ năm 1795 dưới sự thôi thúc của mục sư Grégoire, nhằm giành lại quyền làm chủ mặt biển từ tay người Anh. Thực tế, người ta cần phải xác định một cách chính xác vị trí của các con tàu, mà muốn vậy phải biết tính toán các kinh độ dựa vào việc quan sát vị trí của các ngôi sao trên bầu trời. Cơ quan kinh tuyến có nhiệm vụ tính toán một cách chính xác nhất đường đi của các thiên thể. Cơ quan này xuất bản mỗi năm một lịch sao, tức là một tập hợp các bảng biểu chỉ rõ vị trí của Mặt trời, Mặt trăng, các hành tinh trong suốt năm đó. Các bảng biểu này không những cho phép tính toán vị trí của các con tàu, mà còn rất có ích cho những mục đích khác. Các nhà thiên văn dùng chúng để lên kế hoạch quan sát, cơ quan NASA cần chúng để gửi các thiết bị thăm dò đến các thiên thể thuộc Hệ Mặt trời. Các nhà làm lịch và các lễ hội cũng đều dựa theo các lịch sao này. Chẳng hạn, đền thờ Hồi giáo tại Paris cũng nhờ sự tư vấn của Cơ quan kinh tuyến để quyết định ngày chính thức của tháng Ramađan, vì nó tùy thuộc vào ngày trăng non xuất hiện. Cơ quan kinh tuyến còn có những vị khách khá bất ngờ: cơ quan bảo hiểm muốn biết người lái xe có bị Mặt trời rọi vào mắt khi xảy ra tai nạn không? Vị thẩm phán và viên cảnh sát thì tới hỏi xem khi xảy ra tội ác là đêm sáng trăng hay đêm đen. Nhà kiến trúc sư cũng muốn biết vị trí của Mặt trời để quyết định hướng của

ngôi nhà sẽ xây. Nhà điện ảnh hỏi xem khi quay một cảnh trong đêm thì lúc đó Mặt trăng có tròn không. Ở những thang thời gian dài hơn, nhà cổ khí hậu học muốn biết cách đây 50 triệu năm, hành tinh chúng ta đã nhận được ánh sáng Mặt trời như thế nào. Còn nhà thiên văn thì hy vọng được biết Hệ Mặt trời trong vòng vài trăm triệu năm nữa có còn bền vững hay sẽ bị tan rã, mỗi hành tinh đi về một nẻo.

Chúng ta đã biết rằng Laplace, một trong những thành viên sáng lập của Cơ quan kinh tuyến, đã lựa chọn khả năng bền vững. Đi theo vết chân bậc tiền bối nổi tiếng của mình, Jacques Laskar, trái lại, đã bắt gặp hỗn độn. Để làm điều đó, ông đã đưa vào máy tính của mình một biểu thức toán học dài dằng dặc với 150.000 số hạng đại số mô tả hành trạng trung bình của các hành tinh trên quỹ đạo quay quanh Mặt trời. Laskar không quan tâm đến những thay đổi ngắn hạn - những sai lệch nhỏ xảy ra trong vòng vài nghìn năm, thậm chí vài chục nghìn năm - rồi sau đó hành tinh lại trở về con đường chính đáng của mình. Ông chỉ quan tâm đến những thay đổi dài hạn. Cũng giống như nhà kinh tế học khi nghiên cứu sự tiến triển của thị trường chứng khoán không chú ý đến sự tăng giảm hàng ngày của mỗi cổ phần, mà chỉ chú ý đến giá trị bình quân của 40 cổ phần (gọi là CAC 40) trong vòng 30 ngày.

Và như vậy, Laskar đã đưa hệ thống Mặt trời tới một tương lai xa đến 200 triệu năm. Để tóm được hỗn độn, ông đã phải lặp lại sự tính toán bằng cách thay đổi chút ít các điều kiện ban đầu. Và một lần nữa câu hỏi "ngàn vàng" lại được đặt ra là: trong không gian pha trừu tượng (được đặc trưng không chỉ bởi các tọa độ không gian mà còn bởi các tọa độ vận tốc nữa), liệu các quỹ đạo của một hành tinh với những điều kiện ban đầu hơi khác nhau, có luôn ở gần nhau? Tức là khoảng cách giữa chúng tăng tỷ lệ thuận với

thời gian, hay là chúng tách xa nhau theo hàm mũ, tức là khoảng cách giữa chúng cứ tăng gấp đôi, rồi tăng gấp đôi nữa, gấp đôi mãi sau mỗi khoảng thời gian đã cho? Thời gian này càng ngắn thì hệ thống càng hỗn độn?

Câu trả lời của máy tính là dứt khoát: toàn bộ Hệ Mặt trời bao gồm cả các hành tinh ở vòng trong, là có tính hỗn độn. Hành trạng không thể tiên đoán được của Diêm Vương tinh là quy tắc chứ không phải là ngoại lệ. Sự khác biệt chỉ tí chút về vị trí sẽ được khuếch đại lên đến mức các quỹ đạo của chúng hoàn toàn tách xa nhau. Sự lệ thuộc cực kỳ nhạy vào các điều kiện ban đầu như thế có nghĩa là hiện tại cùng một lúc tách rời khỏi tương lai và quá khứ. Tương lai thì không thể tiên đoán được còn quá khứ thì vĩnh viễn mất hút. Laskar nhận thấy rằng sự tách ra xa nhau giữa hai quỹ đạo của một hành tinh nào đó với những điều kiện ban đầu chỉ khác đi tí chút, cứ sau 3,5 triệu năm sẽ tăng lên gấp đôi. Hai Trái đất tưởng tượng chỉ khác nhau 100m lúc xuất phát, sau 100 triệu năm, sẽ ở cách xa nhau tới 40 triệu kilômét, tức là khoảng ⅓ khoảng cách giữa Trái đất và Mặt trời! Điều đó khiến cho quỹ đạo của các hành tinh có một quá khứ mơ hồ và một tương lai không xác định, bởi vì số đo vị trí của các hành tinh không bao giờ hoàn toàn chính xác cả. Song, cũng giống như Diêm Vương tinh, cái ngẫu nhiên ở đây không thể làm những gì mà nó thích: nó luôn bị kiềm chế. Tương lai bất định của các quỹ đạo không nhất thiết có nghĩa là ngày mai chúng ta sẽ thấy Trái đất lang thang đến gần Kim tinh, hoặc vĩnh viễn rời bỏ Hệ Mặt trời. Trái đất rất có thể vẫn ngoan ngoãn quay theo quỹ đạo hiện nay của nó xung quanh Mặt trời. Nhưng người ta cũng không bao giờ có thể tuyệt đối tin chắc như vậy. Bao giờ cũng có một chút ít nguy cơ là nó sẽ không như thế nữa. Như vậy là giấc mơ quyết định luận tuyệt đối của Laplace đã vỡ tan tành.

Chúa Trời chơi súc sắc với các hành tinh

Khả năng của chúng ta thấy được tương lai của các hành tinh vòng trong (Thủy tinh, Kim tinh, Trái đất và Hỏa tinh) sẽ giảm đi rất nhiều sau vài chục triệu năm nữa. Cái ngẫu nhiên bị bài trừ bởi quyết định luận của Newton và Laplace đã lừng lững trở lại thế giới vĩ mô. Nó đã chiếm lĩnh thế giới nguyên tử nhờ có sự xuất hiện của cơ học lượng tử vào đầu thế kỷ XX. Bohr, Heisenberg và Pauli nói với chúng ta rằng không thể nhắc đến quỹ đạo của electron như chúng ta nói đến quỹ đạo của Mộc tinh xung quanh Mặt trời. Chúng ta không bao giờ có thể xác định được một cách chính xác đồng thời cả vị trí và vận tốc của electron. Giống như Janus, electron có hai diện mạo: nó vừa là hạt vừa là sóng. Nó chỉ là hạt chừng nào ta quan sát nó. Còn khi ở xa cái nhìn chăm chú của người quan sát, nó lại mang gương mặt sóng. Thay vì ngoan ngoãn đi theo quỹ đạo duy nhất xung quanh hạt nhân nguyên tử, electron lượn lờ, quay tít và chiếm lĩnh toàn bộ không gian trống không của nguyên tử, giống như sóng tạo bởi một hòn đá ném xuống hồ sẽ lan truyền và chiếm lĩnh toàn bộ mặt hồ. Electron đã thoát ra khỏi gông cùm của thế giới quyết định luận. Người ta không thể nói trước được nó sẽ ở đâu vào một thời điểm xác định. Nhiều lắm thì người ta cũng chỉ tiên đoán được xác suất nó sẽ ở chỗ này hoặc chỗ kia. Giống như các con sóng trên đại dương, sóng electron cũng có những đỉnh và nút của nó. Người ta có nhiều cơ may được gặp nó ở những đỉnh sóng, nhưng ngay ở đó chăng nữa người ta cũng không thể biết chắc chắn là sẽ gặp được nó. Xác suất tìm thấy nó ở đó là lớn, nhưng không phải là trăm phần trăm.

Như vậy là thế giới của các nguyên tử lệ thuộc vào cái ngẫu nhiên. Người ta nghĩ rằng thế giới vĩ mô và nhất là cơ học thiên thể là pháo đài không thể chiếm lĩnh được và không bao giờ sụp

đổ trước những đợt công kích của "bất định" luận. Henri Poincaré đã tìm thấy những điểm yếu trong các bức tường của pháo đài này ngay từ cuối thế kỷ XIX. Hỗn độn đã thực sự ùa vào đó và pháo đài các hành tinh, nơi đã sản sinh ra quyết định luận, đã bị hạ trước khi thế kỷ XX kết thúc. "Chúa Trời không chơi trò súc sắc", Einstein - một nhà quyết định luận thâm căn cố đế - đã nói về cơ học lượng tử như vậy. Ông không thể chịu nổi ý tưởng rằng cái ngẫu nhiên chi phối thế giới nguyên tử. Không hiểu ông sẽ nói gì nếu biết rằng Chúa Trời cũng chơi trò súc sắc với cả các hành tinh?

Ý tưởng cho rằng pháo đài quyết định luận về các hành tinh không thể đánh chiếm được, đã ăn sâu vào đầu óc của các nhà nghiên cứu đến nỗi những kết quả nghiên cứu của Laskar lúc đầu chỉ được đón nhận với rất nhiều hoài nghi. Những lời chỉ trích cất lên từ mọi phía. Nếu chỉ giới hạn ở việc xem xét hành trạng trung bình của các hành tinh thôi thì có lẽ chưa đủ. Biết đâu quỹ đạo của các hành tinh bị tách ra xa nhau không phải do hiện tượng hỗn độn mà do sự tích tụ các sai số được đưa vào máy tính vì làm tròn các con số thì sao. Laskar đã thử trả lời những công kích ấy bằng cách nhận dạng các nguyên nhân vật lý có khả năng sinh ra hỗn độn trong Hệ Mặt trời. Trong quá trình làm việc này, ông đã chạm trán với hiện tượng cộng hưởng. Giữa một bên là Hỏa tinh và Trái đất và bên kia là Thủy tinh, Kim tinh và Mộc tinh có tồn tại những tương tác hấp dẫn tinh tế. Những cộng hưởng này đã phá hủy mất khả năng có thể tiên đoán được. Chúng chính là kẻ thù của quyết định luận. Giống như việc chiếc đu cộng hưởng với dao động qua lại của nó có tác dụng đẩy cho đu ngày một lên cao, làm cho người chơi vô cùng thích thú, những xung lực hấp dẫn lặp đi lặp lại làm cho những khác biệt rất nhỏ ban đầu cứ khuếch đại lên mãi cho đến khi không thể tiên đoán được nữa.

Trong khoa học, phương tiện tốt nhất để kiểm tra sự đúng đắn của một kết quả là làm lại những tính toán hoặc quan sát, và tùy theo sở thích, các nhà nghiên cứu khác có thể sử dụng những phương pháp và dụng cụ hoàn toàn khác. Thực tế, các nhà thiên văn học khác cũng đã bắt tay săn tìm hỗn độn trong Hệ Mặt trời. Một số người không bằng lòng với việc chỉ giản đơn theo dõi hành trạng trung bình của các hành tinh như Laskar đã làm. Họ theo dõi một cách chi tiết sự tiến hóa trong tương lai của mỗi hành tinh. Những người khác lại xây dựng những máy tính được thiết kế một cách đặc biệt để tịnh tiến Hệ Mặt trời theo thời gian. Cuối cùng thì ai cũng nhất trí rằng: bất kể dùng phương pháp tính toán hay loại máy tính nào đi nữa, các hệ mặt trời giả định đều luôn luôn bộc lộ một hành trạng hỗn độn. Một thay đổi nhỏ của điều kiện ban đầu đều sẽ làm cho các quỹ đạo tách ra xa nhau theo hàm số mũ sau một khoảng thời gian từ 3 triệu đến 30 triệu năm. Hỗn độn không chỉ giới hạn ở các hành tinh vòng trong, nó còn xâm lấn cả các hành tinh vòng ngoài. Rất nhiều quỹ đạo nằm giữa Thiên Vương tinh và Hải Vương tinh đều không ổn định. Nếu đặt vào đây các thiên thể thì trong vòng 5 tỷ năm, một nửa trong số đó sẽ bị văng ra khỏi Hệ Mặt trời. Từ quá trình văng ra này, người ta suy ra khả năng khoảng vài tỷ năm trước, đã từng tồn tại một Hệ Mặt trời chứa nhiều hành tinh nhỏ (ngoài 9 hành tinh mà chúng ta đã biết) có kích thước cỡ Mặt trăng. Các hành tinh nhỏ này về sau đã bị văng ra, những hành tinh còn lại do nặng hơn nên ít chịu nguy cơ bị bắn ra ngoài.

Vai trò của hỗn độn trong quá trình hình thành Hệ Mặt trời hiện vẫn còn nằm trong vòng bí mật. Phải chăng Hệ Mặt trời đã hình thành quá nhanh, chỉ trong vài triệu năm, từ một tinh vân nguyên thủy đến cấu hình hiện nay; với toàn bộ vật chất được kết

tập trong các hành tinh và để lại chỉ một chút mảnh vụn? Nếu đúng như vậy thì chỉ có thể kết luận rằng hỗn độn là một tác nhân rất quan trọng. Hay trái lại, Hệ Mặt trời đã hình thành dần dần trong khoảng thời gian hàng tỷ năm với rất nhiều mảnh vỡ nhung nhúc giữa các bào thai hành tinh, và hỗn độn đóng vai trò là kẻ quét dọn các mảnh vỡ ấy? Điều này hiện chưa ai biết. Người ta cũng không thể loại trừ khả năng hỗn độn có tác động nào đó đối với sự tồn tại của hành tinh thứ 10 trong Hệ Mặt trời. Một khối lượng phụ được thêm vào như thế sẽ làm nhiễu loạn sự cân bằng mong manh của hệ thống, và điều đó dẫn tới việc khối lượng gây nhiễu loạn ấy bị văng ra ngoài.

Cái hỗn độn không gây thảm họa

Những "hệ mặt trời - đồ chơi" đã cho thấy tất cả mọi dấu hiệu của hỗn độn. Song, nếu hỗn độn hiện diện ở khắp nơi thì có một vấn đề được đặt ra. Hệ Mặt trời được hình thành từ cách đây 4,6 tỷ năm, tức là khoảng thời gian rất dài. Thế mà ngày nay các hành tinh vẫn còn bình yên quay quanh Mặt trời. Làm thế nào trong một thời gian dài như thế, các hành tinh ấy lại không một lần "phát khùng", các quỹ đạo của chúng lại không đan chéo nhau và những vụ đụng độ lại không làm cho chúng vỡ thành ngàn vạn mảnh? Như chúng ta đã thấy, hỗn độn không nhất thiết đồng nghĩa với lộn xộn, điên khùng và không bền vững. Diêm Vương tinh vẫn hành xử một cách kiềm chế và ôn hòa qua nhiều tỷ năm, trong khi đó lại không thể nào tiên đoán được quỹ đạo của nó ngoài khoảng thời gian vài chục triệu năm. Chúng ta lại một lần nữa đối mặt với hỗn độn bị kiềm chế. Vẫn luôn có một nguy cơ nho nhỏ là Hệ Mặt trời sẽ tan rã trong tương lai, các hành tinh của

nó sẽ mỗi cái đi một ngả trong vòng vài triệu năm tới. Nhưng khả năng đó là cực kỳ nhỏ bé. Nếu các máy tính tính toán sự tiến hóa của một tỷ "hệ mặt trời-đồ chơi" trong vòng 4,5 tỷ năm tới, thì cũng sẽ chẳng có chuyện gì ghê gớm xảy ra đối với tuyệt đại đa số các hệ thống đó. Trái đất vẫn cứ tiếp tục vòng quay của nó xung quanh Mặt trời. Mùa xuân vẫn cứ mê hoặc chúng ta với những sắc màu muôn hồng ngàn tía, mùa đông vẫn cứ tra tấn chúng ta với cái rét cắt da. Trong số một tỷ "hệ mặt trời-đồ chơi" ấy, chúng ta chỉ thấy có chăng là một hệ bất ngờ trở nên điên khùng và tan rã.

Người ta nói rằng cái ngẫu nhiên bị kiềm chế trong Hệ Mặt trời, khi mà những nhiễu loạn hấp dẫn còn yếu ớt và những hiện tượng cộng hưởng còn chưa khuếch đại chúng lên. Chính bởi vì hỗn độn không thả lỏng cho tính khí thất thường của nó, nên Newton và Laplace mới có thể nghĩ rằng Hệ Mặt trời là một bộ máy trơn tru dầu mỡ, mà tương lai, hiện tại và quá khứ của nó đều có thể được xác định với một độ chính xác tuyệt đối. Như vậy, hỗn độn lẩn khuất tại mọi xó xỉnh của Hệ Mặt trời đã tạo thành một thứ cầu nối giữa một bên là thế giới trừu tượng, tinh khiết và lý tưởng hóa của các định luật vật lý, còn một bên là sự phức tạp và hỗn loạn của thế giới cụ thể mà chúng ta đang sống.

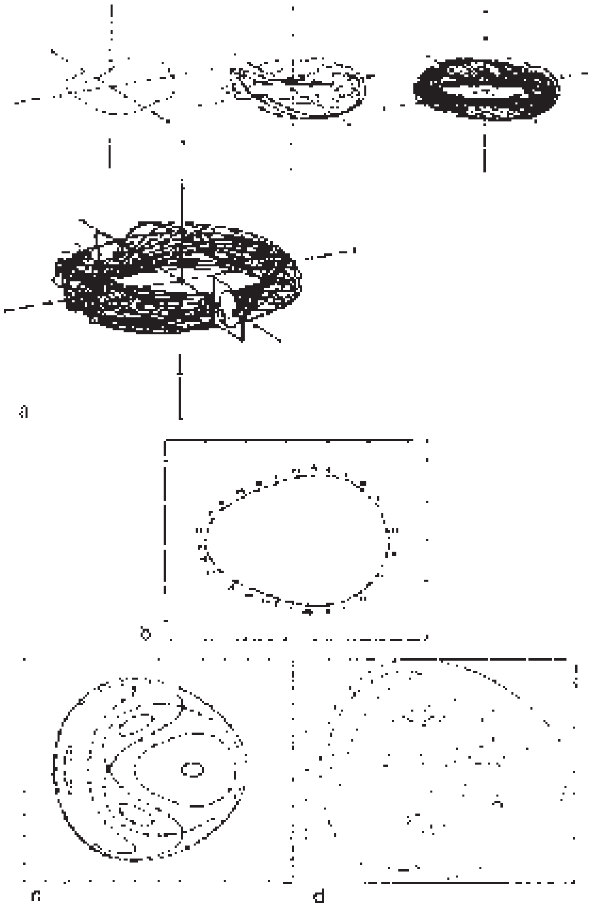
Những quỹ đạo sao hỗn độn

Trong những đêm hè nóng nực đẹp trời, có một dải trắng bạc rất lớn vắt qua bầu trời, trông thật thích mắt. Màu trắng sữa của nó đã gợi ý cho cổ nhân gọi nó bằng cái tên "dải Ngân Hà". Ngày hôm nay chúng ta biết rằng dải đó chính là thiên hà hình đĩa của chúng ta, một tập hợp gồm 100 tỷ mặt trời liên kết với nhau bằng lực hấp dẫn. Vì Hệ Mặt trời nằm trong cái đĩa đó, nên chúng ta chỉ

nhìn thấy một cạnh của đĩa, khiến cho nó có dạng một dải sáng vắt ngang qua bầu trời. Các ngôi sao không đứng im trong cái đĩa dẹt có đường kính bằng 90.000 năm ánh sáng ấy. Giống như trong một sàn quay vũ trụ khổng lồ, các vì sao này đều quay xung quanh tâm của thiên hà (xem ảnh 9 của tập ảnh màu). Mặt trời, một vì sao ở vành ngoài cách xa tâm của Ngân Hà 30.000 năm ánh sáng (tức là ở ⅔ bán kính của thiên hà đi từ tâm ra đến ngoại biên), kéo theo cả Hệ Mặt trời quay trong không gian với vận tốc 250km/s. Điều này làm cho chúng ta quay một vòng quanh thiên hà mất 250 triệu năm. Từ khi ra đời, khoảng 4,5 tỷ năm trước, hành tinh của chúng ta đã quay được cả thảy 18 vòng quanh thiên hà.

Chính lực vạn vật hấp dẫn của Newton đã chi phối chuyển động của các vì sao trong đĩa Ngân Hà chúng ta. Một vấn đề được đặt ra là: nếu hỗn độn lẩn khuất ở ngay trong lòng các phương trình Newton, liệu nó có xâm nhập vào thế giới các vì sao không?

Một nhà khoa học người Pháp tên là Michel Hénon làm việc ở Đài thiên văn Nice muốn giải tỏa mối lo lắng này. Để làm hiển thị chuyển động của các vì sao trong đĩa Thiên hà, ông đã phải cầu cứu tới phương pháp mặt phẳng Poincaré (H. 28a). Sự đi qua mặt phẳng Poincaré của mỗi ngôi sao tương ứng với một điểm trên mặt phẳng ấy. Nếu quỹ đạo của ngôi sao được lặp đi lặp lại đúng như cũ, thì điểm tương ứng trên mặt phẳng Poincaré vẫn là điểm ấy. Còn nếu nó không lặp lại, tức là nếu vòng quay không tự khép kín, quỹ đạo của ngôi sao sẽ cắt mặt phẳng Poincaré ở một chỗ khác và điểm tương ứng sẽ đổi chỗ. Chính nhờ theo dõi sự di chuyển liên tục của các điểm tương ứng đó mà Hénon đã phát hiện thấy hỗn độn cũng xâm chiếm thế giới các vì sao. Tuy nhiên, hỗn độn đó không biểu hiện ngay tức khắc. Những quỹ đạo đầu tiên được tính toán cho các ngôi sao có năng lượng chuyển động



Hình 28. *Quỹ đạo các sao và hỗn độn*. Quỹ đạo các sao vạch ra trong không gian pha trừu tượng những đường cong phức tạp kiểu hình xuyến (hình a). Để hiển thị những đường cong này, Poincaré đã tưởng tượng cắt các đường cong đó bằng một mặt phẳng thẳng đứng. Giao điểm của các đường cong này và mặt phẳng Poincaré tạo nên một đường liên tục khép kín chừng nào năng lượng chuyển động của các sao còn chưa vượt qua một giá trị tới hạn: các quỹ đạo sao khi này còn ổn định (hình b và c). Nhưng khi năng lượng chuyển động của các sao vượt quá giá trị tới hạn, quỹ đạo của chúng trở nên hỗn độn và những đường cong vẽ ra trên mặt phẳng Poincaré những hình trong đó các vùng ổn định nằm xen kẽ với những vùng hỗn độn (hình d).

trung bình xử sự rất ngoan ngoãn. Mặc dù chúng hành xử chưa thật quy củ và cũng không bao giờ lặp lại một cách hoàn toàn, song hành trạng của chúng vẫn còn tiên đoán được. Các điểm tương ứng không phân bố một cách tán loạn và ngẫu nhiên trên mặt phẳng Poincaré, mà vạch nên một đường cong có dạng xác định, trông giống như hình một quả trứng (H. 28b). Điều này nói lên rằng trong lòng đĩa thiên hà, các vì sao di chuyển bên trong một thể tích có dạng một chiếc "săm" xe đạp mà người ta gọi là *hình xuyến* (hình 28a). Hénon tò mò muốn gia tăng năng lượng chuyển động của các vì sao để xem có gì lạ. Đường cong hình quả trứng liền biến dạng thành một hình phức tạp hơn với những hình số 8 hoặc chia nhỏ ra thành các vòng kín riêng rẽ (hình 28c). Song các quỹ đạo vẫn ổn định và hỗn độn vẫn chưa ló mặt. Hénon tiếp tục gia tăng năng lượng của các vì sao lên cao nữa, và rồi đột nhiên như có phép lạ, hỗn độn xuất hiện. Các điểm bắt đầu lang thang tán loạn trên mặt phẳng Poincaré. Nếu ở một vài chỗ còn có thể nối chúng lại bằng một đường cong trơn tru, thì ở những chỗ khác điều đó trở nên gần như bất khả thi. Những ốc đảo trật tự nhỏ bé xuất hiện đây đó, nhưng ngập chìm trong mênh mông của đại dương hỗn độn (hình 28d). Các quỹ đạo sao trở thành không ổn định nữa và hỗn độn đã xâm chiếm "thiên hà-đồ chơi". Hai điểm ở cạnh nhau trên mặt phẳng Poincaré có thể thuộc về các quỹ đạo hoàn toàn khác nhau. Đó chính là dấu hiệu của hỗn độn. Chỉ cần thay đổi năng lượng của vì sao thêm chút nữa là quỹ đạo của nó trở nên không thể tiên đoán được.

Nhân hút lạ

Cũng giống như trong trường hợp các hành tinh, hỗn độn không có nghĩa là hỗn loạn hoàn toàn. Hỗn độn có tính tất định và bị kiềm chế. Trong không gian pha trừu tượng, giao điểm của các quỹ đạo với mặt phẳng Poincaré vẽ nên những hình rất xác định. Trái với những hình bất thành dạng hoặc không rõ nét, những hình được vẽ nên ở đây cực kỳ đẹp đẽ và nhìn rất sướng mắt. Các điểm trên mặt phẳng Poincaré không phải vung vãi một cách ngẫu nhiên, mà bị "hút" về phía các đường cong có dạng lạ lùng. Các nhà vật lý gọi chúng là những "nhân hút lạ".

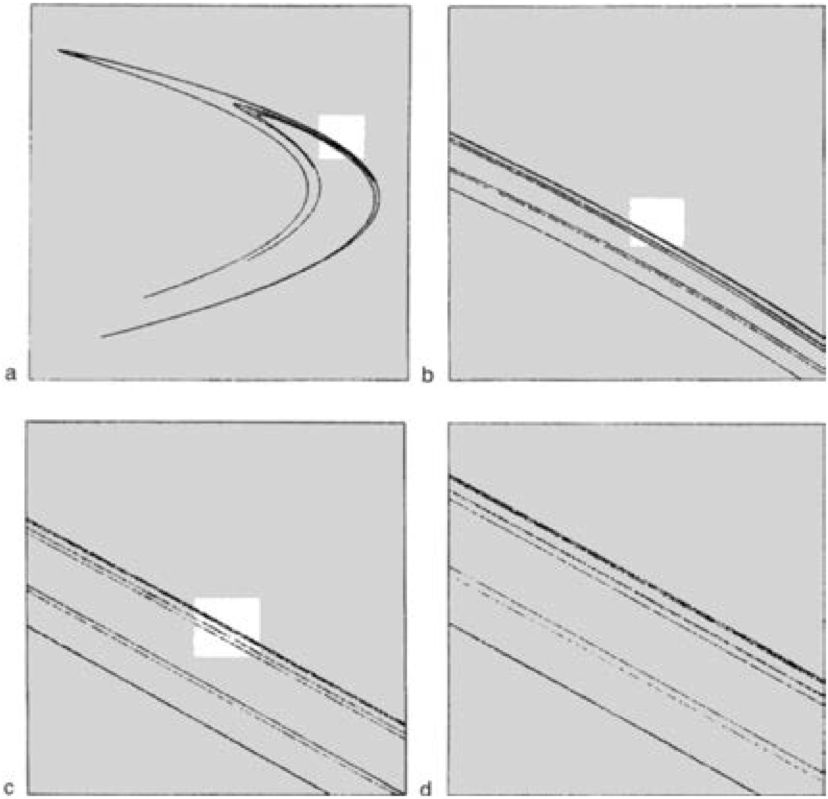
Lạ vì các hình quá ư đẹp đẽ này là kết quả tổng hợp của hai xu hướng đối lập nhau. Một bên là xu hướng hội tụ, vì tất cả các quỹ đạo đều bị hút không gì cưỡng nổi về phía các hình đó như một chiếc đinh bị nam châm hút vậy. Còn bên kia là xu hướng phân kỳ, vì những quỹ đạo ban đầu rất gần nhau lại phân kỳ ra xa nhau theo hàm mũ trong một thời gian nào đó. Lạ còn bởi vì các hình đó luôn đồng dạng với nhau, bất kể bạn xem xét chúng ở thang bậc nào. Bạn hãy chiêm ngưỡng những đường nét tinh tế của một "nhân hút lạ" trên một tờ giấy, rồi dùng kính lúp phóng to một phần của "cái nhân hút" đó lên, bạn sẽ lại tìm thấy chính những hình ấy, nhưng bé hơn mà thôi. Hãy phóng to một lần nữa những hình đó nhưng ở thang nhỏ hơn nữa và bạn sẽ lại thấy chính những hình ấy. Những họa tiết hệt như nhau cứ lặp đi lặp lại đến vô cùng tận cho dù kính lúp có phóng to đến mức nào.

Hénon đã phát hiện ra rằng "nhân hút lạ" của quỹ đạo các ngôi sao có hình dạng một quả chuối. Những đường nét vẽ nên hình này cho thấy một độ dày nhất định và thể hiện một đặc tính rất kỳ cục là chúng có khả năng tách đôi đến vô cùng (H. 29). Hãy lấy

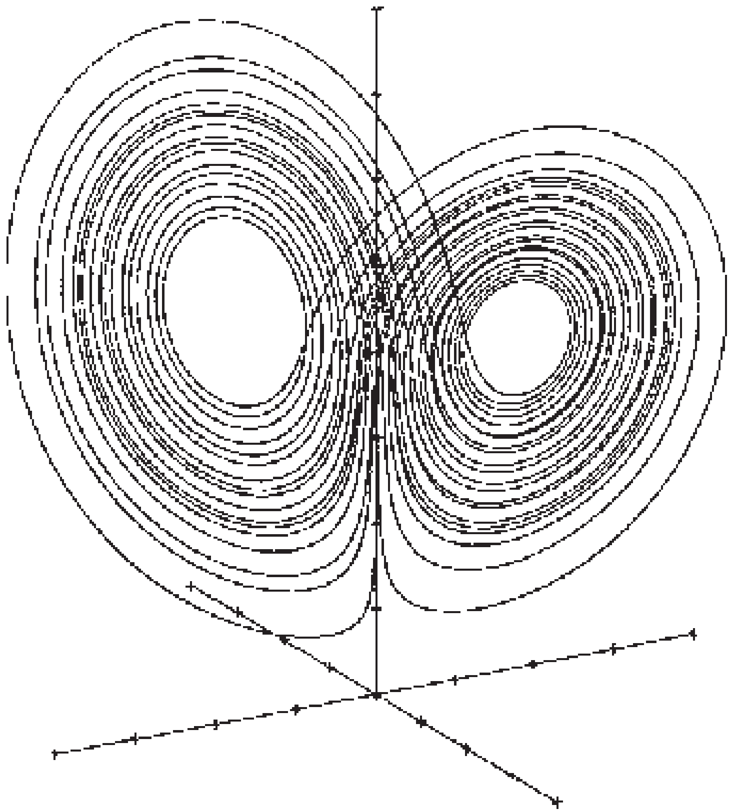
một kính lúp để phóng to chúng lên. Mỗi nét đều tách thành hai. Hãy phóng to một lần nữa. Mỗi trong hai nét vừa được phân đôi lại tách ra làm hai nét nữa. Lặp lại quá trình này đến vô tận bằng những kính lúp có độ phóng đại ngày càng lớn, ta sẽ thấy rằng các nét vẽ cứ tách đôi mãi, giống như con búp bê Matruska của Nga, mỗi con lại chứa trong nó một con khác bé hơn. Một điểm tương ứng với một quỹ đạo ngôi sao sẽ luôn nằm trên một trong số những nét đó, nhưng không thể tiên đoán được điểm tương ứng với quỹ đạo tiếp sau sẽ nằm ở đâu, dù biết rằng nó chỉ ở đâu đó trên "nhân hút lạ"...

Những nhân hút lạ không chỉ liên quan đến quỹ đạo các sao. Edward Lorenz, như chúng ta biết ở trên là người đã từng phát hiện ra hỗn độn trong khí tượng, cũng lại là người khám phá ra ở đó "nhân hút lạ". Trong không gian pha trừu tượng, những chuyển động phức tạp của các khối không khí tạo ra trời xấu hay trời đẹp đều có thể được biểu diễn bằng một điểm. Điểm này nhảy múa và uốn lượn vạch ra những hình rất đẹp. Lorenz đã chứng minh rằng các điểm luôn luôn rơi vào một "nhân hút lạ" có dạng hai cánh bướm, chứa đựng những vòng khép kín và xoắn ốc sít lại gần nhau tới vô tận, nhưng không bao giờ lặp lại (H. 30). Một lần nữa, người ta lại thấy ở đây một chuỗi vô tận những con búp bê Nga. Lấy kính lúp soi có thể thấy một đường cong cũng sẽ được tách thành 2, 4, 8... cho đến vô tận.

Sự phân tách vô tận này đặt ra một vấn đề: làm sao một không gian hữu hạn lại có thể chứa đựng cái vô hạn? Câu trả lời ở đây còn đáng kinh ngạc hơn nữa: rất có thể là vì "nhân hút lạ" có một chiều fractal...



Hình 29. Nhân hút lạ của quỹ đạo các sao. *Chuyển động của các ngôi sao vẽ nên trong không gian pha trừu tượng một loại hình xuyến (H.28a). Giao của hình xuyến này và mặt phẳng Poincaré cho một hình có dạng quả chuối (hình a). Sự phóng đại hình vuông nhỏ trên hình (a) cho ta hình (b). Đường có vẻ như là duy nhất trên hình (a) thực tế đã được tách đôi trên hình (b). Lại phóng đại tiếp hình vuông nhỏ trong hình (b) cho ta hình (c). Mỗi một đường bây giờ lại được tách đôi tiếp. Và cứ như thế, phóng đại tiếp hình vuông nhỏ trên hình (c) lại cho ta hình (d). Sự tách đôi các đường cứ diễn ra như vậy đến vô hạn sau mỗi một lần phóng đại. Chuyển động của các quỹ đạo có nhân hút lạ hình quả chuối là có tính hỗn độn, bởi vì ta không thể tiên đoán được điểm trên mặt phẳng Poincaré tương ứng với quỹ đạo tiếp sau của ngôi sao sẽ rơi vào đường nào trong số các đường đó và ở vị trí nào.*



Hình 30. Nhân hút Lorenz. *Khi nghiên cứu chuyển động đối lưu của không khí trong không gian pha (Những chuyển động này là do sự lạnh đi của khí quyển ở trên cao. Không khí nóng bốc lên sẽ bị lạnh đi, điều đó lại làm cho nó chuyển động xuống dưới. Khi xuống đến phía dưới, nó lại nóng lên và điều đó lại làm cho nó bốc lên.), nhà khí tượng học Edward Lorenz đã phát hiện ra rằng điểm biểu diễn hệ khí tượng trên mặt phẳng Poincaré vẽ nên một hình rất đẹp và lạ, có dạng đôi cánh bướm. Điểm biểu diễn đó bị hút không sao cưỡng nổi về phía những vòng xoáy của đôi cánh bướm đó, chính vì thế mà nó có tên là "nhân hút lạ". Ví dụ, điểm này có thể vạch một vòng trong cánh bướm bên trái, rồi hai vòng trong cánh bướm bên phải, trước khi quay trở lại cánh bên trái. Chuyển động của điểm đó là hỗn độn, bởi vì người ta không thể tiên đoán được nó sẽ ở đâu trong một vòng xoáy và thuộc vòng xoáy nào vào thời điểm tiếp sau.*

Bờ biển xứ Bretagne là một hình fractal

Thời còn trên ghế nhà trường, chúng ta ai cũng biết rằng những vật quen thuộc có số chiều được biểu diễn bằng một số nguyên: đường thẳng có một chiều, mặt phẳng có hai chiều, không gian trong đó chúng ta đang hoạt động có 3 chiều (lên - xuống, trái - phải, trước - sau). Tuy nhiên, từ đầu những năm 1970, chúng ta lại biết rằng còn có những loại vật mà số chiều chỉ có thể được biểu diễn bằng những phân số, ví dụ như $\frac{9}{5}$ hoặc $\frac{5}{2}$. Những vật mà số chiều của chúng là phân số đã được nhà toán học người Pháp là Benoit Mandelbrot (1924 -), người đã khám phá ra nó, gọi là "fractal".

Chắc là bạn sẽ nghĩ rằng các vật có số chiều không phải một số nguyên là rất kỳ quái, và chắc chúng phải có dạng rất kiểu cách và hư ảo, mà có lẽ chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng phóng túng của các nhà toán học. Bạn đã nhầm to. Các vật có số chiều phân số đều là những vật quen thuộc mà chúng ta vẫn thường thấy trong đời sống hằng ngày. Một số vật ấy còn gợi cho ta những cảm xúc thẩm mỹ khó tả: một bông tuyết trên kính cửa sổ, một áng mây trôi trên bầu trời xanh hoặc một chiếc lá với hình dạng hết sức tinh tế trên cây. Vậy làm thế nào để nhận ra được những vật có số chiều không phải là số nguyên này? Rất đơn giản: đó là những vật có dạng rất không đều đặn, trơn tru, và không có trong danh mục của hình học Euclid. Hơn thế nữa, đặc tính không đều đặn và không chính quy của chúng còn được lặp lại ở mọi thang bậc.

Hãy lấy bờ biển xứ Bretagne làm ví dụ (H. 31). Nếu bạn ngắm nhìn bờ biển này qua cửa sổ máy bay từ độ cao vài kilômét trên mặt đất, bạn có thể hình dung ra được dạng không đều đặn của nó một cách khái quát, song bạn không thể nhìn thấy các chi tiết như

những bãi tắm rất đẹp hoặc những vịnh nước trong vắt. Trái lại, nếu bạn đi xe hơi dọc con đường ven bờ biển Bretagne, nói cách khác là bạn ngắm cảnh bờ biển ở khoảng cách vài chục mét, thì bạn có thể được chiêm ngưỡng những bãi tắm và những vịnh biển trong vẻ mỹ lệ của nó. Nhưng đối với các chi tiết nhỏ như những đoạn zic-zắc nhỏ, những chỗ khấp khểnh răng cưa của bờ biển, thì bạn vẫn chưa thấy hết. Những chi tiết này bạn chỉ có thể nhìn thấy khi đi bộ dọc theo bờ biển. Tuy vậy, vẫn còn những chi tiết nhỏ hơn nữa mà bạn không thể thấy được như những hạt cát hay những mảnh vỏ sò bé tí tẹo. Và bây giờ nếu bạn tưởng tượng mình là một con kiến bò dọc theo đường bờ biển qua từng milimét một, bạn có thể thấy được những chỗ gồ ghề nhỏ nhặt nhất và cả những hạt cát li ti nữa. Những thứ không đều đặn đó được biểu hiện ra ở mỗi thang bậc. Những vịnh, những vũng và những bãi tắm lại bộc lộ ra những vịnh con, vũng con và bãi tắm con, rồi đến lượt mình, chúng lại bộc lộ ra những vịnh con của con, vũng con của con và bãi tắm con của con... Sự lặp đi lặp lại cứ tiếp tục như thế, cho tới khi ta đến thang nguyên tử, tức là thang một phần trăm triệu xentimét.

Bạn có thể hỏi: thế thì độ dài của bờ biển Bretagne là bao nhiêu? Bạn sẽ không có được câu trả lời duy nhất, bởi vì chiều dài đó còn phụ thuộc vào khoảng cách mà từ đó bạn vận dụng tài năng trắc đạc của mình để đo chiều dài ấy. Từ trên máy bay, rất nhiều xó xỉnh có kích thước dưới 1 km đều sẽ bị bỏ qua. Và đáp số mà bạn nhận được khi đó chắc sẽ ngắn hơn chiều dài đích thực của bờ biển. Trên đường bộ dọc theo bờ biển, ngồi trên xe, bạn sẽ thấy rõ hơn các đoạn vòng vèo của các vịnh hoặc các vũng, song những chỗ khúc khuỷu nhỏ hơn vài ba mét thì chắc chắn bạn cũng không thể nhận ra. Chiều dài mà bạn nhận được khi này chắc sẽ dài hơn,



Hình 31. *Bờ biển nước Pháp là một hình fractal*. Bức ảnh trên chụp bờ biển của nước Pháp với độ phân giải vài chục km từ vệ tinh Meteosat. Ngay cả với độ phân giải đó, bờ biển này nhìn vẫn không trơn tru đều đặn. Nếu như vệ tinh ở thấp hơn và chụp còn chi tiết hơn, thì những bức ảnh sẽ cho thấy bờ biển này còn không đều đặn hơn nữa. Thực tế, tính không đều đặn này của bờ biển được thể hiện ở mọi thang bậc với những họa tiết được lặp đi lặp lại, từ thang bậc này đến thang bậc khác. Độ không đều đặn của bờ biển được đặc trưng bởi số chiều của nó, nhưng số chiều này không nhất thiết phải là một số nguyên như đối với các cấu trúc hình học Euclide, mà là một phân số. Chẳng hạn, số chiều của một bờ biển nằm giữa 1 (số chiều của đường thẳng) và 2 (số chiều của một mặt). Bờ biển nước Pháp là một ví dụ về cấu trúc fractal trong Tự nhiên. (Ảnh ESA).

vì nhiều chi tiết nữa đã được tính đến, nhưng nó vẫn còn nhỏ hơn chiều dài thực. Bây giờ hãy đi bộ dọc bờ biển với chiếc thước mét trong tay. Đáp số mà bạn nhận được sẽ gần với chiều dài thực của bờ biển Bretagne hơn; song chiều dài đó vẫn còn ngắn hơn so với chiều dài đích thực, bởi vì các xó xỉnh có kích thước dưới một mét bạn vẫn chưa tính đến. Và cứ như thế mãi cho tới khi con kiến biết tính đến từng hạt cát nhỏ nhất thì chiều dài đo được của nó sẽ lớn hơn chiều dài mà bạn đo được bằng chiếc thước mét. Như vậy, đáp số về chiều dài bờ biển phụ thuộc vào mối tương quan giữa vật được đo (ở đây là bờ biển Bretagne) và người quan sát. Đại lượng đó dài hơn hay ngắn hơn phụ thuộc vào người quan sát khảo sát nó ở gần hay xa. Sự tương tác này giữa đối tượng được quan sát và người quan sát đã hồi đáp lại những điều xảy ra trong thế giới nguyên tử, nơi mà hành động quan sát gây nhiễu loạn và làm thay đổi những tính chất của nguyên tử được quan sát.

Hình học của những cái không đều đặn

Trực giác của bạn chắc sẽ mách bảo rằng những ước lượng về chiều dài của bờ biển Bretagne không ngừng tăng lên, chắc rồi sẽ hội tụ tới một giá trị cuối cùng tương ứng với chiều dài thực của nó. Bạn hoàn toàn có lý, nếu như bờ biển ấy được biểu diễn bằng một hình trong hình học Euclid, ví dụ như một hình tròn. Để đo chiều dài (chu vi) một hình tròn, phương pháp lấy tổng các đoạn cứ ngắn dần mãi, cuối cũng sẽ hội tụ tới chu vi thực của hình tròn. Ban đầu hình tròn được biểu diễn gần đúng bằng hình tam giác nội tiếp trong nó, sau đó bằng hình vuông, rồi hình ngũ giác, lục giác v.v... Chu vi của các hình đa giác nội tiếp trong hình tròn đó sẽ dần dần tiến gần đến chu vi hình tròn. Song, chiều dài của bờ biển

Bretagne lại không thuộc trường hợp đó. Benoit Mandelbrot đã phát hiện ra rằng thang đo càng giảm thì chiều dài được đo của bờ biển càng tăng cho tới khi trở nên vô hạn. Điều này trái với những gì ta thường nghĩ.

Thực ra, hình học Euclid không còn chỗ đứng khi phải mô tả một vật rất không đều đặn như bờ biển xứ Bretagne, hay nói chung là tất cả những gì vặn vẹo, gẫy khúc hoặc gồ ghề. Nó không thể hợp với những thứ không nhẵn nhụi, không tròn trịa, những thứ rối ren, chằng chịt. Nó hoàn toàn thất bại khi xét đến những cái không đều đặn, trong khi những cái không đều đặn lại là đặc tính của đại đa số các vật trong đời sống. Mandelbrot thường thích thú nhấn mạnh điều đó rằng "những đám mây không phải là những quả cầu (xem hình 10, tập ảnh mầu), các quả núi không phải là những hình chóp, những bờ biển không phải là các cung tròn và những tia chớp không phải là các đoạn thẳng". Các hình trong hình học Euclid cổ điển (như hình cầu, hình tròn, hình chóp v.v...) tiêu biểu cho sự trừu tượng hóa hiện thực. Hình học đó đã từng rất có ích và ảnh hưởng tới thế giới quan của chúng ta trong suốt hơn hai nghìn năm. Cho đến nay, tại các trường học, trẻ em vẫn còn học môn hình học này. Nó cũng đã từng tạo cảm hứng cho Platon, người quan niệm rằng thế giới hiện thực chỉ là sự phản ánh không hoàn hảo của một thế giới hoàn hảo với các hình Euclid hoàn hảo. Vì hình tròn là hình Euclid hoàn hảo nhất, nên Ptolemy cho rằng các hành tinh đều chuyển động trên những vòng tròn có tâm lại chuyển động trên những thiên cầu đồng tâm với Trái đất. Thế giới quan sai lầm này đã kéo dài trong hơn hai mươi thế kỷ. Song cho dù có ích và đáng kính trọng đến đâu chăng nữa, những khái niệm Euclid cũng đã đạt đến giới hạn của

chúng. Để mô tả tính phức tạp của thế giới cần phải phát minh ra một ngôn ngữ mới, ngôn ngữ của những cái không đều đặn. Bởi vì những khái niệm Euclid quen thuộc như chiều dài, chiều rộng và chiều dày đã đưa đến những câu trả lời không còn đúng nữa và cần phải vứt bỏ. Mandelbrot đã đưa ra một khái niệm khác để mô tả những cái không đều đặn, đó là khái niệm "chiều" (hay thứ nguyên).

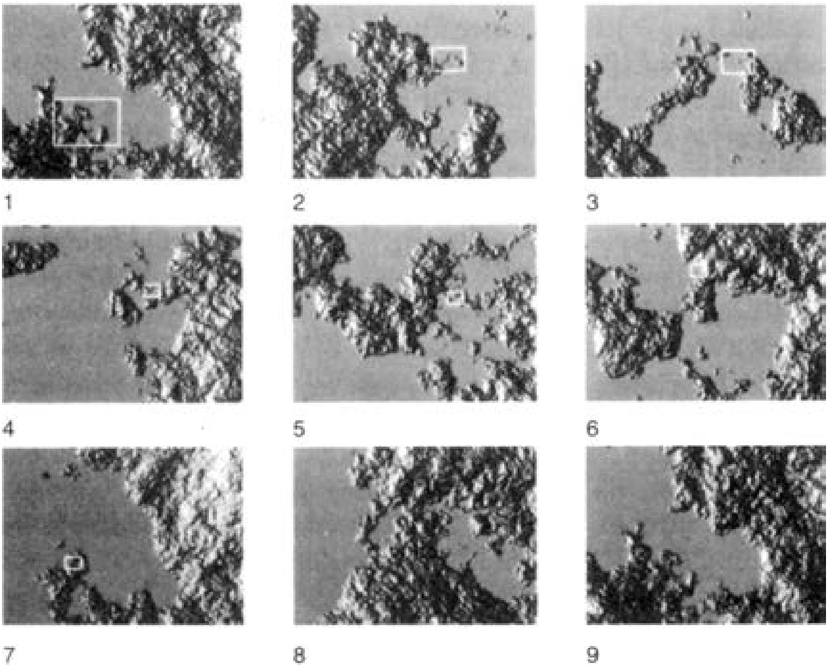
Những vật fractal, và tính đều đặn nằm ngay trong tính không đều đặn

Khái niệm "chiều" không phải là điều gì mới mẻ. Nó cũng đã có trong hình học Euclid (thế kỷ thứ III trước Công nguyên). Nhưng Maldelbrot lấy lại ý tưởng mà nhà toán học Đức Felix Hansdorff đã đưa ra từ năm 1919 về các chiều phân số, có nghĩa là các chiều này không được biểu diễn bằng các số nguyên mà bằng các phân số. Một chiều phân số cho phép đo được tính gồ ghề, gãy khúc và không đều đặn của một vật. Chiều dài của bờ biển Bretagne ngoằn ngoèo, như chúng ta đã thấy, không được xác định rõ ràng. Trái lại, mức độ ngoằn ngoèo, không đều đặn của nó có thể đo được bằng một chiều phân số. Sự lý giải sau đây sẽ làm cho bạn thấy rõ điều đó.

Chiều của bờ biển Bretagne phải lớn hơn 1 bởi vì nó không đi theo một đường cong trơn tru, đều đặn. Mặt khác nó lại phải nhỏ hơn 2, bởi vì nó không trải ra để chiếm toàn bộ một diện tích. Như vậy nó phải nằm giữa 1 và 2. Nó gần với 1 hơn, nếu bờ biển nhẵn và có ít chỗ khúc khuỷu, và nó sẽ gần với 2 hơn, nếu bờ biển có nhiều chỗ lồi lõm, khúc khuỷu và vẽ thành nhiều đoạn zic-zắc để chiếm nhiều diện tích hơn.

Chiều phân số đo tính không đều đặn của vật tức là đo hiệu quả của nó trong việc chiếm lĩnh không gian. Mandelbrot gọi các vật không đều đó là *fractal* vừa bởi vì từ La tinh "*fractus*" có nghĩa là vỡ, không đều, nhưng cũng còn bởi vì từ đó gợi cho ta nhớ tới từ phân số (*fraction*).

Các vật fractal có một tính chất đặc biệt: sự không đều đặn của chúng không phải là ngẫu nhiên. Thực ra, trong cái không đều đặn



Hình 32. *Một bờ biển fractal do máy tính tạo ra*. Hình trên cho thấy một loạt những hình ảnh mới với độ phóng đại tăng dần của địa hình một bờ biển có chiều fractal không đổi. Phần được phóng đại trong mỗi hình được đánh dấu bằng hình chữ nhật màu trắng và chiều phóng đại đi từ trái sang phải và từ trên xuống dưới. Độ không đều đặn vẫn còn như nhau bất kể nó được phóng đại tới mức nào. Bờ biển do máy tính sinh ra này giống một cách đầy ấn tượng với một bờ biển thực: Tự nhiên đã sử dụng những cấu trúc fractal để tạo nên thực tại.

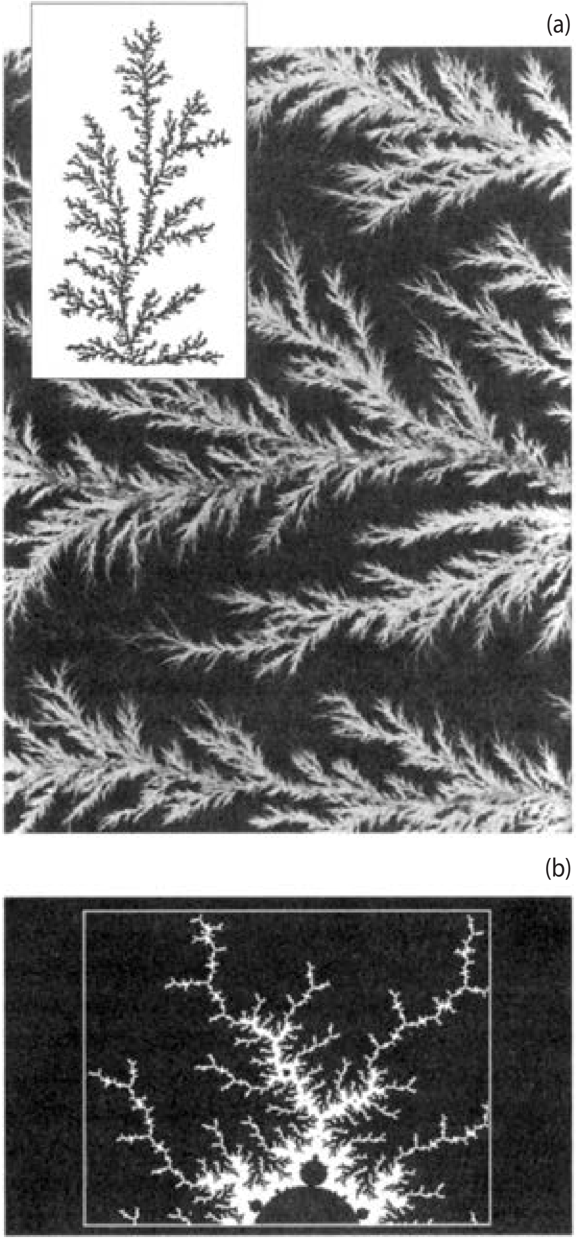
của chúng cũng đã có cái đều đặn. Mức độ không đều đặn luôn là không đổi ở những thang bậc khác nhau. Một vật fractal có cùng một diện mạo, bất kể người ta nhìn nó từ xa hay gần. Khi bạn tiến đến gần, những chi tiết nhỏ sẽ hiện ra, nhưng vật vẫn thể hiện bấy nhiêu tính không đều đặn như khi bạn nhìn nó từ xa. Các vật fractal có tính chất mà người ta thường gọi là "tính bất biến thang": chúng phô bày một diện mạo như nhau cho dù nó có được phóng đại đến mức nào. Một họa tiết lặp lại bên trong của cùng một họa tiết lớn hơn. Họa tiết lớn này cũng vậy, nó lại nằm trong một họa tiết giống như thế nhưng lớn hơn, và cứ tiếp tục như thế, giống như những con búp bê Nga, con nọ nằm bên trong con kia và cứ như thế kéo dài tới vô hạn. Sự không đều đặn cùng loại được lặp đi lặp lại ở mọi thang bậc (H. 32).

Tự nhiên ưa những cấu trúc fractal

Các vật fractal đã được ứng dụng trong những lĩnh vực rất khác nhau và cũng rất bất ngờ, từ địa chất học cho tới thực vật học và cả sinh lý học. Thế giới tự nhiên dường như rất có cảm tình đối với các cấu trúc fractal. Trong địa chất học, hình học fractal đã tỏ ra là một công cụ mạnh mẽ để mô tả các địa hình của bề mặt Trái đất. Ví dụ để mô tả một đống đá ở chân một ngọn núi. Nhìn từ xa, đống đá hiện lên trên đường chân trời và dường như nó không có một chỗ lồi lõm nào: đống đá có số chiều bằng 2. Song nếu đến gần thì thấy đống đá gồm vô số những tảng đá to như một chiếc xe hơi. Các tảng đá này hầu như choán đầy, nhưng không hoàn toàn, một khoảng không gian ba chiều, bởi vì chúng không xếp khít vào nhau và còn cách nhau bởi nhiều khe hở. Như vậy là chiều fractal của đống đá nhỏ hơn 3; giá trị chính xác của nó là 2,7.

Hình 33. *Tự nhiên ưa những cấu trúc fractal*. Các hình (a), (b) và (c) cho thấy những hình fractal do máy tính tạo ra. Thông tin cần thiết để tạo ra những hình ảnh đó được mã hóa theo một vài quy tắc rất đơn giản, kiểu như *z (cuối cùng)* = z^2 *(ban đầu)* + *c* được mô tả trong phần chú thích ảnh 13 trong tập ảnh màu ở giữa sách. Điều lạ là những hình được tạo ra theo cách đó lại giống một cách đáng ngạc nhiên so với các vật trong đời sống thực: giống những chiếc lá cây (hình a); giống đường zic-zắc của một tia chớp (hình b) và giống với rất nhiều sự phân nhánh của các cành cây (hình c). Cứ ngỡ như là Tự nhiên áp dụng những quy tắc của toán học fractal để tạo dựng nên tính phức tạp vậy.

(a)



(b)



Những cấu trúc fractal cũng xuất hiện ngay trong cơ thể con người. Cấu trúc phân nhánh của các mạch máu, từ động mạch cho đến các mao mạch đều có bản chất fractal. Các động mạch chủ phân nhánh thành động mạch vừa, và các động mạch vừa lại phân thành các tiểu động mạch. Đó là giải pháp có hiệu quả nhất mà tạo hóa đã tìm ra để chứa đựng một diện tích lớn các mạch máu bên trong một thể tích rất hạn chế của cơ thể con người. Tạo hóa đã chơi rất tài tình trò ảo thuật chiều (thứ nguyên) này. Mặc dù hệ thống các mạch máu chỉ chiếm khoảng 5% thể tích cơ thể con người, nhưng cấu trúc fractal của nó đã làm cho trong hầu hết các mô, không bao giờ có một tế bào nào lại ở rất xa một mạch máu.

Mạng huyết mạch không phải là mạng duy nhất có cấu trúc fractal trong cơ thể con người. Còn có nhiều bộ phận khác cũng có cấu trúc đó và bao giờ cũng nhằm dung nạp một diện tích lớn

nhất trong một thể tích nhỏ nhất. Diện tích của cặp lá phổi người còn rộng hơn cả một sân quần vợt. Vậy mà thật kỳ diệu, toàn bộ diện tích ấy lại chỉ nằm gói gọn trong khoang ngực. Một lần nữa ở đây tạo hóa lại sử dụng đến hệ thống phân nhánh. Những phế quản lớn được phân nhánh thành những phế quản vừa, rồi thành những phế quản nhỏ. Hệ thống đường tiết niệu, ống dẫn mật trong gan, những sợi cơ truyền các xung điện vào cơ tim, tất cả đều được tổ chức theo cấu trúc fractal: các cấu trúc lớn phân nhánh thành cấu trúc nhỏ, các cấu trúc nhỏ lại phân nhánh thành cấu trúc nhỏ hơn, và môtíp ấy cứ lặp đi lặp lại ở mọi thang bậc. Từ các phân nhánh trong phổi đến các phân nhánh của loài thực vật chỉ phải vượt qua một bước nhỏ. Chẳng hạn, sự phân nhánh của một cành cây, những hình rất tinh tế của một chiếc lá hay những môtíp phức tạp của một vỏ cây, tất cả đều là cấu trúc fractal (H. 33).

Song các cấu trúc này không chỉ tạo nên ngôn ngữ của Tự nhiên. Nó còn là điểm tựa về mặt khái niệm tất yếu và nhất thiết phải có đối với việc nghiên cứu hỗn độn. Các hình fractal và hỗn độn có mối liên hệ mật thiết và không thể tách rời nhau.

Sự chảy rối trên Mộc tinh

Hỗn độn không chỉ giới hạn trong chuyển động của các khối không khí, đem lại những cơn bão mùa hè và những trận mưa rào mùa xuân. Nó có mặt khắp nơi trong mọi chất lưu (gồm lỏng và khí) của thế giới bao quanh ta. Bạn hãy đi dạo trên các bến sông Seine và chú ý nhìn dòng nước chảy dưới các cây cầu Paris. Gần các trụ cầu, bạn sẽ thấy những xoáy nước, vẽ thành những chuyển động phức tạp, không đều đặn và dường như rất hỗn loạn. Người ta gọi những chuyển động đó là sự chảy rối và các nhà khoa học

mô tả chúng như những chuyển động hỗn độn. Hỗn độn cũng tồn tại trong chuyển động của không khí qua các ống đàn "oóc", khi cây đàn này chơi những khúc nhạc du dương trong nhà thờ, đưa chúng ta tới cõi phiêu diêu. Những dòng nham thạch nóng sáng từ các miệng núi lửa cũng là hỗn độn. Những cuộn khói từ miệng người hút thuốc, nước chảy ra từ vòi, những cột bọt trắng xoá của thác Niagara - tất cả đều là hỗn độn.

Những hiện tượng chảy rối có tính hỗn độn này không chỉ giới hạn trên Trái đất chúng ta. Chúng còn xâm chiếm cả bầu khí quyển của Mộc tinh, hành tinh khổng lồ của Hệ Mặt trời. Hành tinh này có thể nuốt chửng 1400 Trái đất và khối lượng của nó lớn gấp 318 lần khối lượng hành tinh xanh của chúng ta. Chỉ riêng Mộc tinh đã nặng gấp 2,5 lần khối lượng của tất cả các hành tinh khác bao gồm cả các vệ tinh, các tiểu hành tinh và các sao chổi cộng lại. Là một quả cầu khí và lỏng, không có bề mặt rắn, Mộc tinh chủ yếu được cấu thành bởi khí hêli và hyđrô. Nếu ta thả xuống hành tinh này một thiết bị thăm dò (như con tàu thăm dò Galileo năm 1995 chẳng hạn) thì thiết bị đó sẽ đi sâu vào khối khí. Áp suất rất lớn của các tầng khí quyển sẽ nén và làm cho nó vỡ tan. Thiết bị từ con tàu thăm dò Galileo thả xuống vào tháng 12 năm 1995 chỉ tồn tại được trong vài giờ, trước khi chết lịm. Song, dù sao cũng đủ để nó gửi về Trái đất rất nhiều dữ liệu. Không có gì tốt lành khi phải thở trong bầu khí quyển Mộc tinh, vì nó tràn ngập khí amoniac.

Một hiện tượng bí hiểm trong bầu khí quyển của Mộc tinh từ lâu đã kích thích trí tò mò của các nhà khoa học. Ở vùng bán cầu Nam của nó có một vệt đỏ rất lớn hình bầu dục giống như một con mắt khổng lồ nhìn trừng trừng vào vũ trụ (xem ảnh 11 trong tập ảnh mầu). Khối khí khổng lồ cuộn xoáy và chảy rối này đã xuất hiện trên Mộc tinh từ ít ra là 4 thế kỷ nay. Nhà thiên văn Galileo người

Italia (1564-1642) đã nhìn thấy nó từ năm 1609, khi ông hướng ống kính thiên văn đầu tiên lên bầu trời. Làm thế nào cơn lốc xoáy khí này cứ tiếp tục mà không hề suy giảm? Cái gì đã nuôi dưỡng sự điên loạn của nó? Nhiều giả thuyết táo bạo và kỳ cục nhất đã được đưa ra. Vào thế kỷ XIX người ta nghĩ rằng vệt đỏ khổng lồ đó là một dòng nham thạch khổng lồ tuôn ra từ một núi lửa trên bề mặt Mộc tinh. Nhưng ngày nay người ta biết rằng cách giải thích đó không thể đứng vững, vì trên Mộc tinh không có bề mặt rắn chắc. Trong những năm 1940, giả thuyết về một bong bóng khí hyđrô và hêli trôi nổi trong bầu khí quyển của hành tinh khổng lồ này, như một quả trứng trôi nổi giữa hai dòng nước, xem ra có vẻ được ủng hộ hơn. Nhưng rồi vấn đề cứ dừng ở đó cho đến khi hai con tàu thăm dò vũ trụ Voyager 1 và Voyager 2 được phóng lên nhằm thám hiểm các hành tinh vòng ngoài và đã khám phá ra nhiều điều kỳ lạ làm thay đổi vĩnh viễn quan niệm của chúng ta về Hệ Mặt trời. Voyager 2 bay trên bầu trời Mộc tinh và đã quan sát kỹ càng "vết đỏ khổng lồ". Nó nhìn thấy một cơn lốc khí khổng lồ màu nâu và màu da cam rực rỡ như một bức tranh thuộc trường phái ấn tượng. Kích thước của cơn lốc này thay đổi qua nhiều thế kỷ. Khi hai tàu thăm dò Voyager đến thì vệt đỏ có kích thước hơi lớn hơn Trái đất một chút. Nhưng khi ở thời kỳ cực đại, kích thước của nó cực lớn (40.000km so với 14.000km), tới mức nó có thể nuốt chửng một lúc ba Trái đất. Cơn lốc khổng lồ này bị giam ở giữa hai dải mây cực lớn nằm ngang, có lúc màu sáng (ở các vùng áp suất cao), có lúc màu sẫm (ở các vùng có áp suất thấp). Hai dải mây này nằm song song với đường xích đạo, bởi vì tốc độ quay của Mộc tinh rất nhanh[1].

1. Mộc tinh là hành tinh quay nhanh nhất trong Hệ Mặt trời. Nó quay nhanh hơn Trái đất tới 27 lần.

Cảnh tượng đó tựa như một cơn lốc trên Trái đất với quy mô không thể lường được. Nhưng nó lại không hoàn toàn giống như trường hợp cơn lốc ở Trái đất, bởi vì một cơn lốc như thế thường lấy năng lượng tàn phá từ nhiệt được tỏa ra do sự ngưng tụ của những khối không khí ẩm thành mưa. Nhưng không hề có trận mưa nào rơi xuống trong bầu khí quyển của Mộc tinh cả. Mặt khác, một cơn lốc trên Trái đất, ở Nam bán cầu phải có vòng xoáy theo chiều quay của kim đồng hồ (còn ở bán cầu Bắc thì vòng xoáy của nó ngược lại). Vậy mà "vệt đỏ khổng lồ" mặc dầu ở Nam bán cầu Mộc tinh lại quay ngược chiều kim đồng hồ. Cuối cùng, các cơn lốc ở Trái đất chỉ kéo dài vài ngày là cùng, trong khi cơn lốc "vệt đỏ khổng lồ" lại diễn ra không ngừng từ nhiều thế kỷ nay.

Cần phải tìm ra lời giải thích cho hiện tượng đó, và đây là lúc phải cầu viện đến hỗn độn. Cơn lốc kéo dài nhiều thế kỷ này có thể được xem như một hệ thống tự tổ chức, một vùng ổn định được tạo ra và duy trì bởi hỗn độn, kẻ chịu trách nhiệm về mọi chuyển động hỗn loạn và chảy rối ở xung quanh. Đó là một ốc đảo của sự ổn định trong một đại dương của sự không ổn định, một nơi náu mình của các cấu trúc giữa một cơn bão táp không cấu trúc. Và một lần nữa chúng ta lại thấy ở đây sự xen kẽ của trật tự và hỗn độn đã được Poincaré nhận biết từ khi ông nghiên cứu bài toán ba vật. "Vệt đỏ khổng lồ" trên Mộc tinh nói với ta rằng các phương trình mô tả sự chảy rối của một chất lỏng chứa đựng cùng một lúc cả quyết định luận lẫn hỗn độn. Hỗn độn đã không được đếm xỉa đến và bị ngăn chặn cho đến cuối thế kỷ XIX, cuối cùng đã xuất hiện và đòi phải được thừa nhận bên cạnh tính trật tự.

Hỗn độn trong đời sống hằng ngày

Hỗn độn không chỉ tồn tại trong thời tiết ở trên Trái đất hay trên Mộc tinh, trong quỹ đạo của các hành tinh thuộc Hệ Mặt trời hay của các ngôi sao trong dải Ngân Hà. Nó còn biểu hiện ở mọi góc phố, trong những sự kiện diễn ra hằng ngày. Chúng ta ai cũng từng sống qua những sự kiện xem ra rất nhỏ nhặt không có chút quan trọng nào, thế mà sau đó, chính những sự kiện ấy lại làm thay đổi hẳn cuộc sống của chúng ta. Một người dậy muộn một chút vì đồng hồ báo thức không đổ chuông, anh ta phải lỡ hẹn, thế là mất béng một việc làm đã dành cho anh ta, để rồi phải làm một công việc khác hẳn với những gì anh ta đã dự kiến. Một người đàn bà bị chậm vài giây vì thang máy của ngôi nhà bị trục trặc. Do chậm lại một chút đó mà chậu hoa từ tầng thứ 10 rơi xuống đã không rơi trúng đầu chị ta, mà chỉ sượt qua vài xentimet...Đó là những tình huống rất đặc trưng cho hỗn độn: những thay đổi nhỏ nhặt nhất trong cuộc sống có thể làm cho nó đảo lộn hoàn toàn. Những sự kiện thoạt đầu chẳng quan trọng gì lại quyết định toàn bộ chiều hướng của cả một đời người. Chỉ cần thay đổi một chút những điều kiện ban đầu là số phận của bạn sẽ hoàn toàn thay đổi.

Hỗn độn đã trở thành một đề tài thời thượng. Nó xuất hiện trên trang nhất các tờ báo, các cuộc hội thảo quốc tế về nó diễn ra khắp nơi trên thế giới. Nhiều tác phẩm cắt nghĩa những khái niệm như "nhân hút lạ" và "vật fractal" (xem ảnh 13 trong tập ảnh mầu) với những hình ảnh hấp dẫn, có thể tranh đua về vẻ đẹp với những cuốn sách mỹ thuật xếp đầy các giá trong các hiệu sách. Hỗn độn đã được đề cao là đối tượng của các khoa học và nhiều viện nghiên cứu đã được thành lập trên khắp thế giới để nghiên cứu nó. Nó cũng đã vượt ra ngoài phạm vi của các khoa học tự nhiên và chiếm lĩnh nhiều ngành hoặc nhiều chuyên ngành rất khác nhau, như

nhân chủng học, sinh học, sinh thái học, địa chất học, kinh tế học, lịch sử, kiến trúc hồi giáo, chữ tượng hình Nhật Bản, ngôn ngữ học, âm nhạc, thị trường chứng khoán, viễn thông, quy hoạch đô thị, động vật học. Đấy mới chỉ là liệt kê một số thôi.

Sự thăng trầm của sự sống

Hỗn độn thậm chí còn can dự vào sự thăng trầm của sự sống. Thế giới là một cái chảo chứa đủ loại sinh vật bao gồm hàng triệu loài. Rừng Amazon nhung nhúc những loài bò sát đủ loại, những giống chim muông với những bộ lông sặc sỡ, những loài côn trùng đua nhau rền rĩ. Sông ngòi và đại dương thì đầy tôm cá, các khu rừng già vẫn còn bảo tồn được nhiều loài quý hiếm. Các quần thể đa dạng ấy tiến hóa ra sao? Bởi vì hỗn độn cũng có tác động đến sự tiến hóa của các loài.

Một đàn thỏ sống trong một khu rừng. Điều gì sẽ xảy ra nếu như các nguồn thức ăn trong khu rừng đó đang cạn kiệt dần hoặc đã hết hẳn? Và điều gì sẽ xảy ra nếu một con sói săn mồi đột ngột xuất hiện, chắc nó sẽ hài lòng khi được ăn mỗi bữa một con thỏ? Rồi chuyện gì sẽ sẽ xảy ra đối với một cụm dân cư nếu một bệnh dịch xảy ra và một loại virút mới xuất hiện? Để trả lời cho những câu hỏi đó, một ngành khoa học mới đã ra đời, ngành sinh thái học. Các nhà sinh học say mê môn toán đã bắt đầu bằng việc tạo ra những mô hình đơn giản để nghiên cứu sự tiến hóa của các quần thể sinh vật. Mô hình đơn giản nhất là sơ đồ cổ điển của Malthus: một biểu đồ dân số phát triển vô hạn, không hề bị ràng buộc bởi tình trạng lương thực, đạo đức hoặc lãnh thổ. Mô hình kiểu Malthus (1766-1834) được đặc trưng bởi một tỷ lệ tăng trưởng, gắn liền với khả năng sinh sản chẳng hạn. Ví dụ, nếu như số dân

ban đầu là 100.000 và tỷ lệ tăng trưởng là 1,1 (tăng trưởng hàng năm là 10%) thì tới năm sau số dân sẽ là 110.000. Muốn tìm số dân năm sau nữa chỉ cần nhân số dân năm trước với tỷ lệ tăng trưởng. Giống như một tài khoản tiết kiệm, tiền lãi tăng lên đều đặn, số dân cũng tăng lên đều đặn hàng năm. Song mô hình đó không hiện thực cho lắm bởi vì nó chưa tính đến thực tế khắc nghiệt của sự sinh tồn: việc thiếu lương thực sẽ dẫn đến nạn đói, cuộc đấu tranh để giành giật nguồn lương thực dẫn đến các cuộc chiến tranh, rồi bệnh tật và những nạn dịch gây chết người và nhiều tác nhân khác nữa. Các tác nhân này kiềm chế sự tăng trưởng ngay khi dân số đã trở thành một con số đáng kể[1].

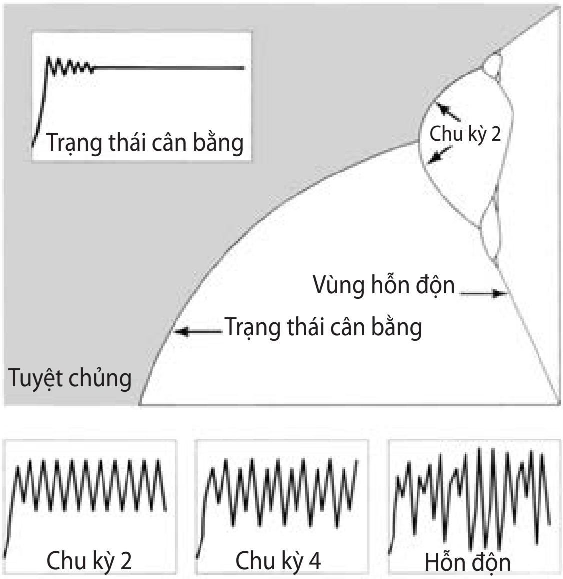
Khi đưa vào mô hình những tác nhân giới hạn sự tăng trưởng, bạn có thể nghĩ rằng sau các pha tăng trưởng, lúc tăng lúc giảm, cuối cùng rồi dân số sẽ nhanh chóng đạt được thế cân bằng: hoặc là nó gần như không thay đổi hoặc là nó thăng giáng theo một chu kỳ khá đều đặn. Suy nghĩ của bạn là có lý: những tính toán do máy tính thực hiện khẳng định rằng chừng nào tỷ lệ tăng trưởng của

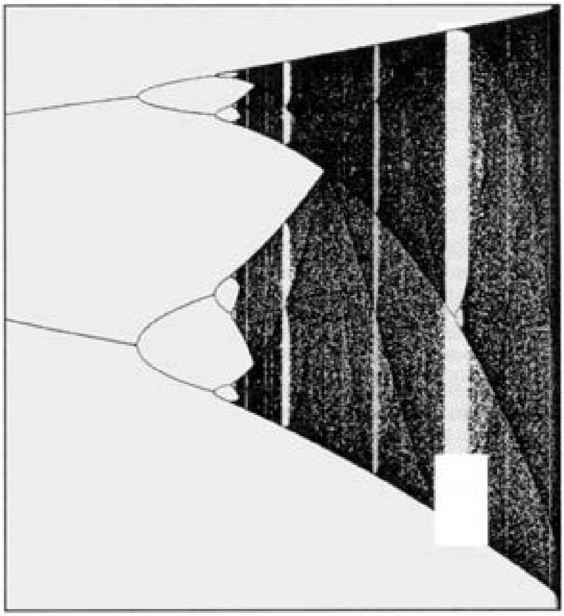
1. Phương trình của mô hình Malthus (tăng trưởng liên tục, không bị kiềm chế) là:
dân số (năm sau) = tỷ lệ tăng trưởng x dân số (năm trước)
Cách đơn giản nhất để tính đến sự kiềm chế độ tăng trưởng dân số do chiến tranh, bệnh tật, nạn đói, v.v., là nhân vế phải của phương trình trên với thừa số [1 - dân số (năm trước)]. Khi đó phương trình trên trở thành:
dân số (năm sau) = tỷ lệ tăng trưởng x dân số (năm trước) x [1- dân số (năm trước)]
Thừa số mới kiềm chế sự tăng trưởng, bởi vì khi dân số tăng, thì thừa số *(1- dân số)* sẽ giảm và điều này làm giảm tích ở vế phải phương trình trên, tức làm giảm dân số năm sau. (Ở đây để thuận tiện người ta đã biểu diễn "dân số" bằng một con số nằm giữa 0 và 1, trong đó 0 biểu diễn sự tuyệt chủng và 1 biểu diễn dân số lớn nhất của đàn thỏ mà ta có thể tưởng tượng ra). Phương trình trên được lặp nhiều lần nhờ một máy tính. Người ta bắt đầu từ một số dân ban đầu, thay vào vế phải phương trình trên người ta nhận được dân số năm sau. Rồi lại thay kết quả mới nhận được vào vế phải phương trình trên, ta nhận được dân số ở năm sau nữa, và cứ tiếp tục như thế.

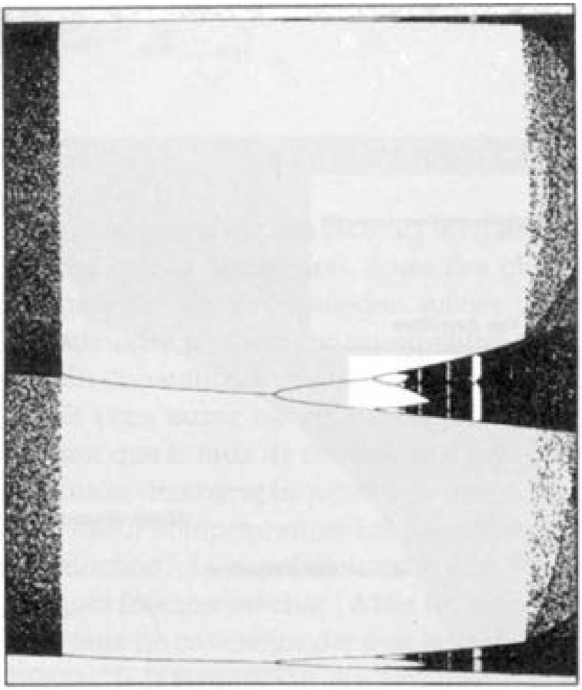
một cộng đồng (có xu hướng dẫn tới một sự bùng nổ dân số và dẫn đến tình trạng dân số quá đông) vẫn còn chừng mực, tức là có giá trị nằm giữa 1 và 3 thì dân số sẽ ổn định (giá trị nhỏ hơn 1 sẽ dẫn đến tuyệt chủng). Điều này là bình thường, chẳng có gì ghê gớm và quan trọng cả. Nhưng các sự kiện sẽ trở nên dồn dập khi tỷ lệ tăng trưởng vượt quá con số 3 (tương đương với việc dân số tăng ba lần mỗi năm). Khi này sự cân bằng sẽ bị phá vỡ và năm này qua năm khác, dân số sẽ dao động giữa hai giá trị phân biệt. Nếu tỷ lệ tăng trưởng cao hơn nữa thì sẽ diễn ra sự phân đôi lần thứ hai. Dao động kép bây giờ sẽ trở thành bội bốn. Dân số sẽ lần lượt nhận bốn trị số khác nhau, mỗi trị số cứ 4 năm lặp lại một lần. Nếu tỷ lệ tăng trưởng còn cao hơn nữa thì một sự phân đôi mới lại diễn ra: bây giờ sẽ là một dãy 8 trị số, và mỗi trị số cứ sau 8 năm sẽ lặp lại. Sự phân đôi cứ tiếp tục như thế và diễn ra ngày càng thường xuyên hơn (8, 16, 32, 64, v.v...) với chu kỳ ngày càng dài hơn theo mức độ tăng của tỷ lệ tăng trưởng.

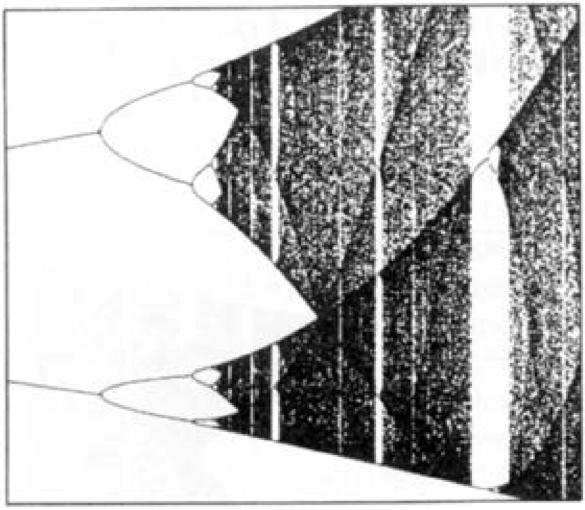
Tuy nhiên, mặc dầu có sự diễn biến phức tạp như thế, nhưng các trị số vẫn cứ lặp lại theo chu kỳ. Nghĩa là có sự đều đặn trong sự phức tạp hóa. Nhưng rồi ngay cả sự đều đặn đó cũng sẽ không còn nữa, khi mà tỷ lệ tăng trưởng vượt quá 3,57. Hỗn độn lúc đó sẽ lấn át tất cả. Tính tuần hoàn sẽ nhường chỗ cho tính ngẫu nhiên. Khi này sự biến thiên của dân số sẽ trở nên hoàn toàn hỗn loạn. Tuy vậy, trong lòng sự hỗn độn đó tính trật tự vẫn chưa hoàn toàn biến mất. Đôi lúc trật tự vẫn bộc lộ sự hiện diện của nó. Đối với một vài giá trị của tỷ lệ tăng trưởng, các chu kỳ ổn định vẫn tái xuất hiện, trước khi lại nhường chỗ cho sự hỗn loạn đối với một số giá trị khác. Như vậy cái đều dặn đi liền với cái không đều đặn và cái trật tự xen lẫn với cái vô trật tự. Các chu kỳ hoàn toàn hỗn độn bao giờ cũng đi kèm theo các chu kỳ khác hoàn toàn đều đặn (H. 34).

Hình 34. *Hỗn độn và sự tiến hóa của dân số*. Sơ đồ (a) biểu diễn sự tiến hóa của dân số (được biểu diễn bởi trục thẳng đứng và tăng từ dưới lên trên) theo tỷ lệ tăng trưởng (được biểu diễn bởi trục nằm ngang và tăng từ trái sang phải). Những tỷ lệ tăng trưởng quá nhỏ sẽ dẫn đến tuyệt chủng. Những tỷ lệ tăng trưởng cao hơn sẽ dẫn đến dân số đông hơn. Dân số vẫn còn ở trạng thái cân bằng bền chừng nào mà tỷ lệ tăng trưởng còn nhỏ hơn một giá trị tới hạn nào đó. Ngay khi nó vượt qua giá trị ấy, sự cân bằng sẽ bị phá vỡ và dân số sẽ dao động giữa hai giá trị phân biệt, rồi bốn giá trị, tám giá trị v.v. Sự phân đôi (được minh họa trên hình (b) trong đó trục thẳng đứng









biểu diễn dân số còn trục nằm ngang biểu diễn thời gian) cứ tiếp tục diễn ra theo mức độ tăng dần của tỷ lệ tăng trưởng, cho tới khi sự tiến hóa diễn ra hoàn toàn là hỗn độn. Số dân khi đó sẽ nhận vô số những giá trị khác nhau và hoàn toàn không thể tiên đoán được. Sơ đồ (c) cho thấy sự mở rộng vùng hỗn độn của sơ đồ (a). Các cấu trúc phức tạp xuất hiện với cùng một mô típ được lặp đi lặp lại ở mọi thang bậc. Chẳng hạn, vùng bên trong của hình chữ nhật nhỏ ở góc dưới bên phải của hình (c) khi phóng đại lên sẽ cho hình (d) và hình chữ nhật nhỏ trong (d), phóng đại lên sẽ cho hình (e). Các cấu trúc trong (d) và (e) giống đến mức ta tưởng lầm là những cấu trúc trong (c).

Trước khi xuất hiện khoa học về hỗn độn, các nhà sinh thái học chia làm hai phái: một phái cho rằng dân số biến đổi nói chung là đều đặn và nó bị chi phối bởi những quy luật hoàn toàn tất định. Một phái lại cho rằng phần lớn các biến đổi ấy là rất ngẫu nhiên và không đi theo bất kỳ một sơ đồ cụ thể nào, vì chúng chịu ảnh hưởng của các yếu tố môi trường không thể tiên đoán được và rất mạnh mẽ tới mức mọi xu hướng có tính tất định đều bị triệt tiêu. Lý thuyết hỗn độn đã dung hòa được hai quan điểm khác nhau đó: hoàn toàn giống như hỗn độn lẩn khuất tiềm tàng trong các phương trình tất định của Newton, và đã chiếm lĩnh thế giới nhìn bề ngoài có vẻ rất bình lặng của các hành tinh, các mô hình tất định đơn giản của sự biến đổi dân số cũng có thể sản sinh ra cái ngẫu nhiên. Việc nghiên cứu các quần thể cá và côn trùng trong những môi trường được kiểm soát chặt chẽ (như trong một ao thả cá) đã chứng tỏ rõ điều đó: các quần thể trải qua những giai đoạn hỗn độn xen kẽ với các giai đoạn đều đặn. Mô hình đơn giản được mô tả trên đây không thể áp dụng trực tiếp để nghiên cứu sự tiến hóa dân số của một cộng đồng người, bởi vì quá trình tiến hóa này rất phức tạp do có sự tương tác với các cư dân khác thông qua các phong trào di dân.

Hỗn độn và các dịch bệnh

Nếu như hỗn độn không thể được nghiên cứu trực tiếp trong quá trình tiến hóa của các quần thể người, thì ngược lại nó có thể được quan sát qua các nạn dịch, đôi khi gây thảm họa trên Trái đất. Các nhà dịch tễ học nhận xét rằng các dịch bệnh diễn ra theo chu kỳ, các căn bệnh cũng tăng hoặc giảm theo chu kỳ. Nếu các thầy thuốc tiến hành một chiến dịch tiêm chủng, kết quả sẽ ra

sao? Trực giác trước hết sẽ nói với bạn rằng: bệnh dịch sẽ không lan ra nữa và sẽ bị quét sạch. Trực giác của bạn hoàn toàn có lý: bởi vì sau một thời gian dài bệnh dịch sẽ có xu hướng giảm đi. Tuy nhiên, người ta cũng sẽ nhận thấy những diễn biến hỗn độn rất lạ lùng. Sau những ngày tiêm chủng đầu tiên, sẽ có những lúc bệnh dịch không giảm mà còn tăng lên đỉnh điểm! Những dao động với quy mô như thế, chắc bạn cũng đã biết, là do các hiện tượng hỗn độn được nảy sinh dưới tác dụng nhiễu loạn của chiến dịch tiêm chủng. Do đó khi thấy bệnh đậu mùa hoặc bệnh lao đột ngột bùng phát, các thầy thuốc không nên thất vọng và vội cho rằng chiến dịch tiêm chủng đã thất bại. Mặc dù có những diễn biến hỗn độn như thế, nhưng bệnh dịch cuối cùng cũng sẽ bị ngăn chặn.

Nhịp đập của tim

Khoa học về hỗn độn thậm chí còn giúp các thầy thuốc hiểu thêm về hoạt động của cơ thể con người. Xét cho đến cùng, cơ thể con người là một hệ động lực phức tạp bậc nhất mà ta có thể nghiên cứu. Là nơi của những vận động và các dòng điện - sự vận động của các cơ bắp, các thớ thịt, các tế bào, sự tuần hoàn của các ion trong các mô cơ bắp, các dòng điện trong các mạng nơron - cơ thể con người có những nhịp điệu rất tinh tế và đa dạng, tất cả đều tác động lẫn nhau. Trong khi đó, cơ thể lại thường được mô tả theo quy giản luận: tức là người ta xem cơ thể như một tập hợp các cơ quan, mỗi cơ quan có cấu trúc, chức năng và đặc điểm hóa học riêng của nó. Các sinh viên y khoa đã quá quen thuộc với cách tiếp cận quy giản luận này: họ phải mất nhiều năm để ghi nhớ tên của các bộ phận khác nhau trong mỗi cơ quan cùng với chức năng của chúng. Cách học đó tỏ ra rất hữu ích trong quá khứ, song nó

cũng có những hạn chế. Khoa học hỗn độn, trong mọi trường hợp, cho phép người ta đi xa hơn rất nhiều. Nó đem lại một nhãn quan toàn diện hơn về cơ thể như một nơi có nhiều vận động và dao động tương tác lẫn nhau. Nhờ sử dụng các kỹ thuật của khoa học mới, các nhà nghiên cứu đã có thể khảo sát được nhiều hiện tượng mất hài hòa trong cơ thể con người: như rối loạn hô hấp, sự phát triển không đều và theo chu kỳ của các tế bào ung thư, những biến đổi mạnh mẽ của số lượng bạch cầu và hồng cầu trong các bệnh về máu, v.v. Hỗn độn đã cho ra đời một môn sinh lý học mới. Nét nổi bật chủ yếu của môn học mới này là những khám phá bất ngờ có liên quan đến một cơ quan có tầm quan trọng sống còn của chúng ta: quả tim.

Một quả tim bình thường có những nhịp đập đều đặn. Song nếu chẳng may có bệnh, tim đập không đều nữa và người bệnh có thể chết. Các nhịp tim không đều đã được ghi lại, phân loại và nghiên cứu. Thầy thuốc có thể nghe bằng tai và nhận biết được hàng chục loại nhịp không đều khi áp ống nghe vào ngực bệnh nhân. Một trong những nhịp không đều nguy hiểm nhất của bệnh tim được gọi là "rung tâm thất". Trong trường hợp đó, đáng lẽ quả tim co lại và giãn ra một cách đều đặn theo chu kỳ – vận động này của tim là để bơm và làm cho máu lưu thông – thì các mô của cơ tim lại vặn vẹo một cách hỗn loạn, quả tim không bao giờ co lại hoàn toàn cũng không giãn ra hoàn toàn, do vậy việc bơm máu trở nên không đều. Một trong những đặc điểm kỳ lạ nhất của tình trạng rung tâm thất là có rất nhiều các thành phần khác của tim vẫn hoạt động hoàn toàn bình thường, thế mà tổng thể lại trục trặc và không có cách nào chữa trị được. Mỗi ổ tự động hóa của tim có thể vẫn tiếp tục phóng đi những xung điện đều đặn, mỗi tế bào của cơ tim vẫn có thể đáp lại một cách nghiêm chỉnh: khi nhận được sự kích thích

của các xung đó, tế bào này sẽ co lại, truyền sự kích thích sang tế bào bên cạnh, rồi lại giãn ra chờ sự kích thích tiếp theo. Nhưng quả tim trong tổng thể của nó không còn hoạt động nữa. Điều này giải thích tại sao khoa học hỗn độn, khoa học của cái tổng thể, lại có thể giúp ta hiểu rõ hiện tượng này.

Hỗn độn của quả tim

Làm thế nào mà hỗn độn có thể xâm chiếm một cơ quan như quả tim chúng ta? Vì sao trong suốt một đời người, quả tim vẫn đập với một nhịp đều đặn, khoảng 21 tỷ lần đập liên tục, bỗng nhiên lại rối loạn để rồi dấn sâu vào một sự cuồng loạn không sao kiểm soát nổi và dẫn tới cái chết? Một nhóm các nhà nghiên cứu của Trường Đại học McGill ở Montréal (Canada), do Léon Glass lãnh đạo, đã quyết định làm rõ vấn đề này. Các nhà nghiên cứu đã lấy ra những tập hợp rất nhỏ ($\frac{1}{80}$cm) các tế bào tim trên bào thai gà con một tuần tuổi. Khi đặt các tập hợp đó cùng nhau và lắc mạnh, rồi quan sát chúng qua kính hiển vi, họ thấy một hiện tượng kỳ lạ: những mẩu nhỏ của tim gà bắt đầu đồng loạt đập một cách tự phát, theo cùng một nhịp bẩm sinh và đều đặn, không cần có sự can thiệp nào của một kích thích tim cả. Các nhà nghiên cứu lại tiếp tục theo dõi hoạt động của mẩu tim gà được kích thích từ bên ngoài một cách tuần hoàn, mà ở đây là các xung điện. Như vậy, mẩu tim gà chịu sự tác động của hai kích thích, tương ứng với hai nhịp hoàn toàn khác nhau: một là nhịp đập bẩm sinh của tim và hai là nhịp đập do các xung điện gây ra. Họ quan sát thấy rằng nhịp đập của tim phụ thuộc vào mối liên hệ giữa hai nhịp đập đó. Họ đã phát hiện thấy hành trạng động lực rất lạ và biến đổi đúng như các hệ thống hỗn độn thường thể hiện. Nếu chu kỳ nhịp đập bẩm sinh là bội số của chu kỳ nhịp đập do xung điện gây ra, thì cứ sau 1, 2, 3... xung điện

tim gà lại đập một lần. Nếu thay đổi tần số của các xung điện, có thể tạo ra sự phân đôi chu kỳ đập: tim gà có thể đập vài lần theo một chu kỳ nào đó, rồi lại đập một lần nữa theo một chu kỳ hoàn toàn khác. Sự phân đôi chu kỳ này giống như chúng ta đã quan sát thấy ở phần trên khi xét sự tiến hóa của các cư dân. Trong một số trường hợp khác, các nhịp đập không theo một chu kỳ cụ thể nào, chúng có thể trở thành ngẫu nhiên và không đều. Lúc đó quả tim gà đã bị hỗn độn chiếm lĩnh hoàn toàn. Đó là kết quả của sự tương tác giữa nhịp đập sinh lý bẩm sinh và tần số của các xung điện.

Các thí nghiệm trên đây gợi ý rằng sự rung tâm thất trong tim người có thể được gây ra bởi sự xuất hiện những ổ bất bình thường thứ cấp bên trong quả tim. Các ổ này tạo ra những xung điện không ăn khớp với nhịp đập riêng vốn có của cơ tim. Sự tương tác của các xung điện thứ cấp này và nhịp đập chính đã đặt quả tim vào một trạng thái hỗn độn, dẫn đến sự rung tâm thất. Đây là một căn bệnh "động". Nó có thể đến bất chợt, bởi vì quả tim là một hệ thống xuất phát từ một nhịp đập bình thường, có thể ngừng đập hoặc đập theo một cách khác không thể tiên đoán được. Sự rung tâm thất là một dạng của hỗn độn ổn định, tự nó không thể biến mất được. Chỉ có sự phóng điện do một máy chống rung tạo ra, xuyên qua lồng ngực người bệnh, mới đưa được quả tim trở lại trạng thái bình thường. Hiện nay cường độ và dạng chính xác của xung điện đặt vào lồng ngực chỉ mới được xác định bằng cách mò mẫm, do chưa có sự hiểu biết thấu đáo về động lực học của quả tim. Nghiên cứu về sự hỗn độn của tim mới chỉ là bước đầu. Khi giải được bài toán về nhịp tim một cách tổng thể, các nhà tim học hy vọng sẽ nhận dạng được một cách khoa học các bệnh nhân có nguy cơ bị tai biến, sẽ thiết kế tốt hơn các máy chống rung và chỉ định những thuốc chữa trị thích hợp.

Hỗn độn thế nào, sức khỏe thế ấy

Một vài nhà sinh lý học thậm chí còn cho rằng một liều lượng nhất định của hỗn độn là cần thiết cho sự hoạt động của cơ thể. Do đó một số nhà nghiên cứu đã thử ứng dụng "hỗn độn" để làm giảm cơn của các bệnh nhân động kinh. Ở các bệnh nhân này, các cơn động kinh dường như có liên quan với các xung điện mạnh trong não, tựa như một số lượng lớn các nơron phóng điện cùng một lúc vậy. Bằng cách tránh các cú phóng điện lớn ấy, tức là tạo cho các nơron một hành trạng có tính hỗn độn và ngẫu nhiên hơn, người ta có thể loại trừ được các cơn động kinh. Ý tưởng ở đây là "xoa dịu" não bằng cách đặt vào nó những xung điện nhỏ nhằm khởi phát một hành trạng hỗn độn hơn của các nơron. Thật nghịch lý là khi đó hỗn độn lại thực hiện chức năng điều tiết và kiểm soát.

Sự thất thường, không chính quy là một yếu tố cơ bản của sự sống. Nó đã chắt lọc lấy cái trật tự ngay trong lòng của cả một đại dương hỗn độn. "Chính bằng cách tập trung dòng trật tự mà con người đã thoát khỏi sự tan rã thành một mớ hỗn độn các nguyên tử". Erwin Schodinger (1887-1961), một trong những cha đẻ của cơ học lượng tử và là một trong số các nhà vật lý đã từng nghiên cứu vấn đề nguồn gốc sự sống, đã nói như vậy.

Thị trường chứng khoán và hỗn độn

Kinh tế và tài chính cũng là những lĩnh vực mà lý thuyết hỗn độn có tiếng nói của nó. Thực tế, đây là những sân khấu mà tính "phi tuyến" ngự trị. Hay nói cách khác, ở đây chỉ cần một nguyên nhân rất nhỏ cũng có thể dẫn đến những hậu quả khôn lường. Hãy lấy ví dụ một trường hợp đơn giản và lý tưởng hóa, đó là trò chơi phân phối bia - trò chơi thường được ra cho các sinh viên Khoa

quản trị kinh doanh thuộc Học viện Công nghệ Massachusetts (MIT). Trò chơi này nhằm giúp sinh viên làm quen với các hiệu ứng hỗn độn có thể phát triển trong một vài hệ thống kinh tế thoạt nhìn có vẻ rất đơn giản. Mỗi người tham gia cuộc chơi đều được yêu cầu đóng các vai sau đây: vai người bán lẻ, người bán buôn (bán sỉ), người phân phối hoặc giám đốc nhà máy bia, tức là vai của các nhân vật trong dây chuyền phân phối, nối liền người tiêu thụ với người sản xuất bia. Mục đích của trò chơi là mỗi người tham gia ở một mắt xích của dây chuyền nói trên phải có đủ số két bia để thỏa mãn nhu cầu khách hàng của mình, mà không giữ lại quá nhiều két trong kho. Người chơi sẽ bị phạt nếu anh ta đặt quá nhiều hoặc không đủ số két bia so với nhu cầu. Như vậy, người bán lẻ phải đặt hàng cho người bán sỉ vừa đủ số két bia để thỏa mãn nhu cầu của người tiêu thụ mà anh ta dự kiến cho tuần sau. Người bán sỉ lại phải tính trước nhu cầu của người bán lẻ để đặt hàng với nhà phân phối, và nhà phân phối phải tính trước nhu cầu của các nhà buôn sỉ để đặt hàng với giám đốc nhà máy sản xuất bia. Cũng như vậy, nhà máy phải sản xuất ra vừa đủ số két bia để thỏa mãn nhu cầu của nhà phân phối đúng như họ đã dự kiến.

Cuộc chơi bắt đầu với những đơn đặt hàng ổn định mỗi tuần của khách hàng cho người bán lẻ: chẳng hạn 10 két bia một tuần. Chừng nào đơn đặt hàng còn ổn định thì sự cân bằng còn được thiết lập. Mỗi người lại đặt hàng 10 thùng bia mỗi tuần cho nhà cung ứng, và nhà máy bia chỉ cần sản xuất đúng số két bia đó là thỏa mãn nhu cầu của mọi người. Song, giả dụ có một nhiễu động trong sự cân bằng của hệ thống. Do một nguyên nhân nào đó, các khách hàng của người bán lẻ tăng gấp đôi nhu cầu tiêu thụ của họ, tức là họ muốn mua 20 két một tuần. Trực giác của bạn chắc sẽ mách bảo rằng tất cả mọi người tham gia vào dây chuyền phân

phối bia sẽ thích ứng nhanh chóng với tình hình mới mà không gặp phiền phức gì, bằng cách tăng gấp đôi số lượng két bia trong đơn đặt hàng của họ (hoặc tăng gấp đôi sản lượng đối với nhà máy bia). Tuy nhiên, thực tế không đơn giản như thế. Thay vì một bước quá độ từ từ, các đơn đặt hàng hằng tuần lại dao động rất lớn. Do vậy, không phải là không xảy ra trường hợp đến tuần thứ 30, nhà phân phối đặt hàng nhà máy tới 40 két bia, trong khi đó khách hàng chỉ tiêu thụ 8 két một tuần. Hiển nhiên là chỉ một sự biến đổi nhỏ trong dây chuyền phân phối bia cũng đủ gây tổn hại cho việc cung ứng của cả hệ thống, và dẫn đến những hành trạng kỳ quặc không ngờ tới. Nếu như hỗn độn đã xâm nhập vào hệ thống rất đơn giản như dây chuyền cung ứng bia này, thì việc nó xâm nhập vào thị trường chứng khoán cũng không có gì đáng ngạc nhiên cả. Xét cho cùng thì thị trường tài chính cũng là một hệ động lực cực kỳ phức tạp, rất nhạy cảm với mọi thông tin mới: giá vàng hạ, lãi suất tăng, một cuộc bầu cử tổng thống, hoặc một cuộc đình công của công nhân nhà máy. Một sự nhiễu loạn dù rất nhỏ cũng có thể dẫn đến những hậu quả đáng kể. Để tin vào điều này, chỉ cần quan sát những trung tâm tài chính ở New York, Luân Đôn, Tokyo hoặc Paris, tại đó hàng nghìn nhân viên tác nghiệp náo nhiệt hoạt động. Họ mạnh ai nấy làm, la hét như điên, tay ngoáy loạn xạ để ra hiệu, để cuối cùng đi đến một quyết định tốt nhất vào một thời điểm thích hợp nhất, trong khi vẫn phải luôn canh chừng sự cạnh tranh và những thông tin từ khắp thế giới báo về, thông qua các đường dây điện thoại, các màn hình và các máy fax. Luật chơi là phải làm sao đạt được lợi nhuận tối đa và giảm được nguy cơ rủi ro ở mức thấp nhất. Mỗi nhân viên tác nghiệp phải nhanh chóng xử lý thông tin, dự kiến trước được chiều hướng thị trường để rồi quyết định mua vào hoặc bán ra hàng hóa tài chính của họ.

Với những hoạt động náo nhiệt, có lúc gần như điên loạn này, liệu các bộ phận đầu não của chủ nghĩa tư bản có thể có được một sự đánh giá hợp lý hay không? Xét cho cùng thì giấc mơ của các nhà kinh tế cũng như các nhà đầu cơ là phải dự kiến được sự lên hay xuống của thị trường chứng khoán nhằm kiếm được lợi nhuận ở mức tối đa. Liệu lý thuyết hỗn độn có giúp ích được gì ở đây không? Mặc dù sự vận động của thị trường tài chính là cực kỳ phức tạp, nhưng vẫn có những cơ chế tự điều chỉnh dựa trên sự kết hợp tinh tế giữa tâm lý con người, hành trạng xã hội và tư duy hợp lý. Ví như giá một sản phẩm tăng quá cao thì cầu sẽ giảm và sự giảm này sẽ làm cho giá hàng đó cũng giảm theo. Sự tồn tại của các cơ chế tự điều chỉnh có liên quan một cách kỳ lạ và quan trọng đến sự vận động của thị trường, của giá cả và của các nền kinh tế; và có thể kéo theo cả hỗn độn nữa. Chẳng hạn, sự tăng giảm của giá vàng cũng giống như sự thăng giáng của dân số mà ta đã nói đến ở phần trên vậy. Các nhà buôn vàng, để có được lợi nhuận tối đa, đã đẩy giá vàng lên một mức cao nhất có thể. Giả sử họ tăng giá vàng lên mỗi tuần, giống như dân số tăng mỗi năm, theo cách tính của Malthus. Nhưng khi giá tăng quá cao thì người mua sẽ ít đi và giá sẽ tự nhiên hạ xuống, giống như sự tăng dân số quá mạnh sẽ bị hạn chế lại bởi thiếu lương thực, bệnh tật hoặc bởi chiến tranh. Thực tế, trong mô hình đơn giản hóa này, các phương trình diễn tả sự biến đổi của giá vàng rất giống với các phương trình diễn tả sự tiến hóa của một dân số xác định[1]. Cũng giống như trong trường hợp dân số, giá vàng có thể đạt tới một sự cân bằng nhất định, nếu tỷ lệ tăng hàng năm không quá cao. Nếu tỷ lệ tăng hơi lớn hơn thì giá vàng bắt đầu dao động giữa 2, 4, 8, 16... trị số khả dĩ, và một

1. Xem chú thích ở trang 208.

sự phân đôi nối tiếp nhau sẽ diễn ra giống như sự phân đôi của dân số. Nếu tỷ lệ tăng của giá vàng cao hơn nữa, thì giá vàng sẽ trở thành hỗn độn. Khi này chúng ta còn lâu mới có thể dự đoán được các điểm cao thấp của thị giá vàng. Song những hành trạng được diễn tả ở đây cho thấy rằng lý thuyết hỗn độn có thể giúp chúng ta hiểu rõ hơn sự vận động của thị trường và của các nền kinh tế.

Như vậy là hỗn độn đã trao quyền cho sinh lý học, sinh vật học, sinh thái học và kinh tế học. Song việc nghiên cứu định lượng hỗn độn trong các môn khoa học được gọi là "mềm" này còn xa mới đạt được mức độ tinh xảo như đã từng biết trong các môn khoa học "cứng" như vật lý thiên văn của Hệ Mặt trời, thủy động học, hoặc ngay cả khí tượng học nữa. Sự mất cân đối này có hai nguyên nhân chính. Trước hết, các hệ thống sinh học và kinh tế học đều quá phức tạp đến nỗi khó có thể tìm ra các phương trình diễn tả chính xác được sự tiến hóa của chúng theo thời gian. Những tính toán gần đúng ở đây còn quá ư đơn giản. Thứ nữa, đây là những hệ được gọi là "hệ phức tạp thích nghi", tức là các hệ có thể học, nhớ và thích nghi, nên thậm chí có thể làm thay đổi cả bản chất của hệ thống ban đầu. Do vậy, cho dù người ta có thể viết ra được các phương trình tiến hóa theo thời gian của các hệ thống sinh học và kinh tế học đi nữa, thì chính các phương trình này cũng sẽ phải biến đổi từ từ theo thời gian. Lộ trình phải vượt qua để tới đích còn dài và rất nhiều gian nan.

Mặc dù còn nhiều khó khăn như thế, nhưng lý thuyết hỗn độn đã dạy chúng ra rằng một số tình huống động trong sinh học, kinh tế học hay chính trị, thay vì đi tới một sự cân bằng, lại có thể dẫn đến một sự tiến hóa có tính hỗn độn, không thể chi phối được. Do vậy, các chính khách, các luật gia và những người có chức trách

khác cần phải xem xét kỹ lưỡng khả năng mà các quyết định của họ không tạo ra được sự cân bằng tốt nhất theo mong muốn. Chúng có thể đưa đến những sự chao đảo dữ dội và không thể dự đoán trước, kèm theo những hậu quả gây tàn phá khôn lường. Lý thuyết hỗn độn có thể giúp chúng ta có được một sự hiểu biết tốt hơn về những chao đảo đó để làm chủ được tình hình một cách tốt nhất.

Như vậy là hỗn độn đã đem lại tự do cho Tự nhiên. Và Tự nhiên được tự do thỏa sức thực hiện sức sáng tạo của mình. Nhưng nó làm được việc đó là nhờ vào những nguyên lý tinh tế của đối xứng, được thể hiện ở sự thống nhất sâu sắc của thế giới vật lý. Ở chương sau chúng ta sẽ xét tới những nguyên lý này.

CHƯƠNG BỐN

VẺ ĐẸP KHẮC KHỔ CỦA ĐỐI XỨNG

Vẻ đẹp của hình tròn

"Trong số ba hình: hình tròn, hình vuông và hình chữ nhật, theo ý bạn hình nào là đẹp nhất, hình nào khơi dậy nhiều nhất cảm xúc thẩm mỹ của bạn?". Nếu tôi đặt câu hỏi đó cho một nhóm người thì chắc rằng ý kiến của họ sẽ rất khác nhau. Song đa số sẽ chọn hình tròn. Cách đây hai nghìn năm những người Hy Lạp cũng nghĩ như vậy, họ cho rằng hình tròn là hình hoàn hảo nhất. Điều này đã khiến cho Aristoteles tuyên bố rằng chuyển động của các hành tinh phải đi theo đường tròn, bởi vì bầu trời là thế giới của sự hoàn hảo. Nỗi ám ảnh về quỹ đạo hành tinh hình tròn chỉ chấm dứt vào đầu thế kỷ XVII khi Johannes Kepler buộc phải thừa nhận một cách miễn cưỡng rằng các hành tinh đi theo những quỹ đạo không phải hình tròn mà là hình elip.

Nếu bạn cảm nhận theo trực giác hình tròn là hình đẹp nhất thì chắc bạn sẽ khó có thể trả lời chính xác được là vì sao. Tuy nhiên, các nhà vật lý có câu trả lời rất rõ ràng: hình tròn là hình đẹp nhất vì nó có sự đối xứng cao nhất. Vậy đối xứng là gì? Từ

điển Robert giải thích rằng đối xứng (*symétrie*) là một từ mượn của tiếng Latin, *symmetria* (vào năm 1529). Chính thuật ngữ kiến trúc này lại được mượn từ tiếng Hy Lạp, *sunmetron,* có nghĩa là "cân đối, có tỷ lệ đúng". Từ đối xứng trước hết được ngành kiến trúc sử dụng để chỉ sự "hòa hợp, cân đối giữa các bộ phận của một tòa nhà và giữa các bộ phận ấy với tổng thể công trình xây dựng, để tạo ra cái đẹp". Sau đó, ý nghĩa của từ ấy được mở rộng dần ra để có một nghĩa chung là "sự đều đặn và hài hòa trong các bộ phận của một đối tượng". Nó được sử dụng ra ngoài phạm vi kiến trúc, đặc biệt là thời kỳ cổ điển, để nói về các tác phẩm hội họa (1660), vào thế kỷ XVIII được dùng trong văn học (1770), rồi trong âm nhạc (1847). Trong bộ *Bách khoa toàn thư* của mình, Diderot (1713-1784) đã đem lại cho từ đó một ý nghĩa đặc biệt để chỉ "sự phân bố đều đặn các bộ phận, các vật thể giống nhau, ở phía này và phía kia của một trục, xung quanh một tâm điểm". Từ này cũng đã được dùng trong thực vật học (1866), trong động vật học và nhất là trong hình học (1872). Về nghĩa bóng, người ta dùng từ đối xứng để nói đến các ý tưởng, các cứ liệu hoặc những tình huống giống nhau và tương xứng với nhau. Như vậy khái niệm đối xứng gợi cho ta sự hòa hợp, cân đối, sự đều đặn, hài hòa và cái đẹp.

Nếu muốn sử dụng cái đẹp như một người dẫn đường trong cuộc tìm kiếm các định luật vật lý để mô tả Tự nhiên, nhà vật lý cần phải tìm cho ra đối xứng ở bên trong các hệ thống mà anh ta nghiên cứu. Để làm việc đó, cần phải đưa vào một định nghĩa chính xác có tính chất thao tác của đối xứng: một vật là đối xứng nếu nó không thay đổi hình dạng (người ta nói là nó bất biến) khi thực hiện trên nó một số thao tác. Như chúng ta đã thấy, các vật fractal có sự bất biến về thang, bởi vì nó luôn thể hiện cùng một

môtip, bất kể người ta xem xét chúng ở thang bậc nào: ở rất gần, tức là ở một thang rất nhỏ được phóng đại lên nhờ một kính lúp, hoặc ở rất xa, tức là ở thang rất lớn. Những vật khác là bất biến đối với sự phản xạ gương hoặc quay tròn. Ví dụ một số vật sẽ không thay đổi nếu bạn cắt chúng làm đôi và chỉ giữ lại một nửa, rồi đem nửa này phản chiếu vào gương. Người ta nói chúng có đối xứng phải - trái.

Đối xứng phải - trái

Không có gì đáng ngạc nhiên khi từ "đối xứng" có nguồn gốc từ trong kiến trúc. Những tác phẩm kiến trúc vĩ đại nhất của nhân loại đều có đối xứng hai bên, tức là sự đối xứng giữa bên phải và bên trái. Chúng ta hãy xem xét kỹ ngôi đền Taj Mahal của Ấn Độ. Giả sử đặt một tấm kính khổng lồ thẳng đứng đi qua chính giữa ngôi đền và phản chiếu nửa bên trái của nó. Hình ảnh mà bạn nhìn thấy trong gương giống hệt nửa bên phải của ngôi đền. Mỗi một họa tiết ở phần bên trái tương ứng với một họa tiết tương tự ở phần bên phải, hệt như được phản chiếu qua một tấm gương vậy (H. 35, trên). Vì vậy mà sự đối xứng hai bên phải - trái cũng còn được gọi là đối xứng gương. Các nhà kiến trúc vĩ đại nhất của mọi thời đại và mọi nền văn hóa đều đã sử dụng đối xứng phải - trái này để diễn đạt những cảm xúc của họ về trật tự, cái đẹp, về sự hoàn hảo và đem lại cho người xem một cảm giác khôn tả về sự hài hòa. Chỉ cần ngắm nhìn Khải hoàn môn của Paris, các vườn thượng uyển ở Versailles hoặc kiến trúc tuyệt vời theo phong cách gôtích của Nhà thờ Đức Bà là có thể hiểu được điều đó. Những chóp nhọn hình mũi tên của nhà thờ Chartres cao vút chĩa lên trời, giữa vùng đồng bằng xứ Beauce đã không còn tuân thủ sự

đối xứng phải - trái nữa. Điều này có nguyên do lịch sử của nó: hai chóp nhọn hình mũi tên đó không được xây dựng cùng thời. Chóp nhọn kiểu La Mã được hoàn thành từ thế kỷ XII trong khi chóp nhọn kiểu gôtích mới được làm từ thế kỷ XVI. Tuy nhiên, sự khác biệt giữa hai chóp nhọn này không có nghĩa là hoàn toàn không có đối xứng. Thực tế, phần còn lại của kiến trúc nhà thờ Chartres vẫn là một sự minh họa hoành tráng cho nguyên lý đối xứng phải - trái (H. 35, dưới).

Một ví dụ khác về sự đối xứng hai bên là hình dạng cơ thể con người. Gương mặt của chúng ta có sự đối xứng phải - trái gần như hoàn hảo. Hãy lấy một tấm ảnh chân dung của bạn rồi dùng kéo cắt đôi từ trán xuống cằm. Cho phản chiếu một nửa tấm ảnh mới cắt trên một tấm gương, bạn sẽ lại nhìn thấy bức chân dung rất giống với bạn. Dĩ nhiên, chắc vẫn còn có những khác biệt nhỏ nhặt, bởi vì sự đối xứng của khuôn mặt không thật là hoàn hảo. Chính đối xứng hai bên đã làm cho ta có thể nhận ra bạn mình khi chỉ nhìn nghiêng, dù từ phía trái hay phía phải. Đối xứng phải - trái này có lẽ là kết quả của quá trình tiến hóa sinh học. Sự sắp đặt đối xứng của hai con mắt và hai tai cho phép con người nhìn thấy hình nổi của cảnh vật và phân biệt được hướng của âm thanh. Đó là điều rất quan trọng để con người có thể sống sót khi phải đối mặt hằng ngày với các thú dữ săn mồi, cách đây khoảng hai triệu năm. Thực tế, hầu như tất cả mọi loại động vật đều có sự đối xứng phải - trái, chính vì vậy mà chúng ta sẽ rất ngạc nhiên khi thấy một loài nào đó lại không có sự đối xứng ấy. Ví như con cá thờn bơn chẳng hạn, nó có hai con mắt nhưng đều ở cùng một bên.

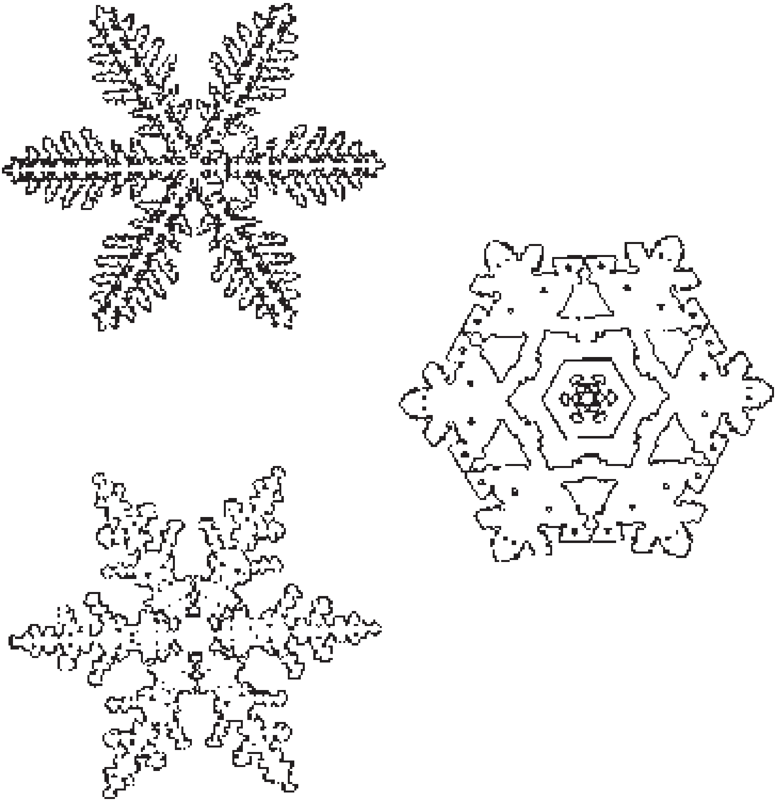
Đối xứng của các tinh thể tuyết





Có những đối xứng khác với đối xứng phải - trái. Một hình tròn sẽ không thay đổi hình dạng nếu bạn quay nó xung quanh tâm: nó có đối xứng mà người ta gọi là đối xứng quay. Hình tròn là hình có bậc đối xứng quay cao nhất, bởi vì tha hồ cho bạn quay nó bất cứ một góc bằng bao nhiêu, 5^o, 7^o hay 180^o, thì nó vẫn luôn luôn như thế. Chính vì thế mà theo trực giác, bạn luôn coi hình tròn là hình đối xứng nhất. Hình vuông cũng là hình có đối xứng quay, nhưng ít đối xứng hơn so với hình tròn, bởi vì bạn chỉ có thể quay nó một góc có 4 giá trị khả dĩ là 90^o, 180^o, 270^o hoặc 360^o

Hình 35. *Đối xứng của kiến trúc*. Đối xứng hai bên (hay đối xứng phải-trái) trong mọi thời đại và trong mọi nền văn hóa đã đóng vai trò hàng đầu trong kiến trúc. Vẻ đẹp khôn tả toát ra từ ngôi đền Taj Mahal ở ấn Độ (hình trên) một phần là do đối xứng phải - trái hoàn hảo của nó. Trái lại, hai chóp nhọn hình mũi tên của nhà thờ Chartres (hình dưới) lại không đối xứng vì được xây dựng vào hai thời kỳ khác nhau: chóp nhọn kiểu La Mã được xây dựng vào thế kỷ XII và chóp nhọn kiểu gôtich vào thế kỷ XVI. Nhưng phần dưới của ngôi nhà thờ này vẫn tôn trọng đối xứng hai bên một cách không chê vào đâu được. Điều này làm cho nó vẫn có vẻ hài hòa và cân đối.



Hình 36. *Vẻ đẹp của các tinh thể tuyết.* Tự nhiên rất thích đối xứng. Nó tạo ra những tinh thể tuyết vừa có đối xứng gương vừa có đối xứng quay.

mới không làm thay đổi hình dạng bề ngoài của nó. Hình chữ nhật lại còn kém đối xứng hơn nữa, bởi vì chỉ có các phép quay 180° hay 360° mới giữ được hình dạng bên ngoài của nó không thay đổi. Vì vậy, bạn sẽ có lý, nếu chọn hình tròn là dạng hình học đẹp nhất. Nó đẹp hơn hình vuông hay hình chữ nhật bởi vì nó thể hiện nhiều tính đối xứng nhất.

Các bông tuyết lấp lánh trên các cành cây trơ trụi bởi sự khắc nghiệt của mùa đông hoặc dính trên các ô kính cửa sổ, sau cơn bão tuyết phủ trắng một mầu trên các làng quê vừa thiu ngủ, đều cực kỳ đẹp. Sở dĩ chúng đẹp một cách quyến rũ như vậy là bởi vì các định luật của sự kết tinh đã làm cho những giọt nước bình dị trở thành những hình khối tinh thể đa dạng gần như vô tận với những đối xứng rất lạ lùng. Chúng vuốt ve cảm giác thẩm mỹ của chúng ta, bởi vì chúng vừa có đối xứng gương, tức là phô bày một hình dạng như nhau nhìn từ các hướng khác nhau; và vừa có cả đối xứng quay, tức là nhìn hệt như nhau, bất kể sự định hướng của chúng như thế nào.

Sự đối xứng của các định luật vật lý và người ngoài Trái đất

Cho tới đây, chúng ta mới chỉ xem xét sự đối xứng của các vật. Chúng ta đã sững sờ trước sự hài hòa của các vườn thượng uyển ở cung điện Versailles hoặc trước vẻ đẹp của ngôi đền Taj Mahal. Chúng ta cũng chiêm ngưỡng vẻ đẹp của khuôn mặt người hoặc một tinh thể tuyết. Tuy nhiên, tạo hóa tinh tế hơn thế rất nhiều. Để dệt nên tấm thảm đa dạng và phong phú của thực tại, tạo hóa không chỉ sử dụng sự đối xứng của các vật mà còn sử dụng cả sự đối xứng của các định luật nữa. Đối xứng ở đây ngụ ý là sự không đổi và bất biến. Một định luật của Tự nhiên được gọi là đối xứng khi nó không thay đổi, bất kể người quan sát là ai và các điều kiện quan sát như thế nào. Chẳng hạn, các định luật của Tự nhiên vẫn như nhau, bất kể hướng của phòng thí nghiệm hoặc nơi mà người ta nghiên cứu như thế nào. Những cái có vẻ như hiển nhiên không phải bao giờ cũng đúng cả. Aristoteles đã từng nghĩ rằng chuyển động tự nhiên trong không gian là chuyển động theo phương thẳng đứng, rằng mọi vật đều thích đi từ cao xuống thấp

và rằng Tự nhiên rất ghét phương nằm ngang. Phải đợi cho đến thế kỷ XVII, sau Galileo, Newton mới chứng minh được rằng mọi hướng trong không gian đều có giá trị cả. Quả táo rơi thẳng đứng xuống đất không phải bởi vì đó là hướng ưu tiên của không gian, mà do một thực tế ngẫu nhiên là chúng ta sống trên Trái đất hình cầu và do khối lượng lớn của mình mà Trái đất đã hút quả táo về phía tâm của nó bằng lực hấp dẫn.

Những định luật của Tự nhiên cũng không phụ thuộc vào địa điểm hay nơi mà người ta nghiên cứu chúng. Dù tôi quan sát một thiên hà tại Đài thiên văn Kitt Peak nằm giữa vùng sa mạc Arizona hay tại Đài thiên văn Hawaii nằm trên đỉnh ngọn núi lửa Mauna Kea đã tắt, những tính chất của thiên hà đó cũng không vì thế mà thay đổi. Một người ngoài hành tinh, khi quan sát chính thiên hà đó từ đầu kia của dải Ngân Hà, cũng sẽ đo đạc được những tính chất chính xác như thế.

Những định luật vật lý cũng bất biến đối với thời gian. Chẳng có gì là quan trọng khi Johannes Kepler khám phá ra những định luật quy định chuyển động của các hành tinh vào năm 1609 hay vào năm 1997 hoặc khi Edwin Hubble khám phá ra sự giãn nở của vũ trụ vào năm 1929 hay vào cuối thế kỷ XX. Các định luật của Tự nhiên đã, đang và sẽ mãi mãi là như vậy. Sự bất biến này của các định luật đối với thời gian đặc biệt hữu ích đối với các nhà thiên văn. Nó cho phép họ sử dụng các kính thiên văn như các máy đi ngược dòng thời gian. Cũng tựa như nhà thám hiểm đi ngược dòng đến tận những cội nguồn của sông Nil, nhà thiên văn đi ngược dòng thời gian cho đến tận nguồn gốc của Vũ trụ, của thời gian và không gian. Mặc dù ánh sáng mang thông tin chu du với vận tốc lớn nhất trong vũ trụ (tức 300.000km/s), nhưng trong thang vũ trụ, nó vẫn là chậm, chỉ như rùa bò mà thôi. Vì thế bao

giờ chúng ta cũng chỉ nhìn thấy nó với một độ trễ nhất định. Mặt trăng mà chúng ta đang nhìn thấy chỉ là bộ mặt hơn 1 giây trước đó của nó, còn Mặt trời là 8 phút trước đó, ngôi sao gần nhất là 4 năm trước đó; Andromede, thiên hà gần Trái đất nhất có kích thước bằng dải Ngân Hà chúng ta, là 2 triệu năm, nghĩa là khi con người đầu tiên mới xuất hiện trên Trái đất; còn như đám thiên hà gần nhất là 40 triệu năm trước và thiên hà xa nhất mà ta còn quan sát được là hình ảnh của nó cách đây khoảng 12 tỷ năm.

Do bất biến đối với thời gian và không gian, nên các định luật vật lý được khám phá ở cái xó Trái đất nhỏ bé của chúng ta vẫn cho phép chúng ta hiểu được những tính chất của các ngôi sao và các thiên hà ở tận đầu bên kia của Vũ trụ. Những thiên thể này ở xa tới mức để đến được kính thiên văn của chúng ta, ánh sáng của chúng phải bắt đầu cuộc viễn du dài giữa các thiên hà và các ngôi sao từ rất nhiều năm trước. Trước cả khi các nguyên tử cấu tạo nên cơ thể của chúng ta được tạo ra trong lò luyện hạt nhân của một ngôi sao nặng và sau đó bị phóng vào môi trường giữa các vì sao trong cơn hấp hối bùng nổ của ngôi sao đó. Tuy nhiên, mặc dù những khoảng cách có thách thức trí tưởng tượng đi nữa, trí tuệ của con người vẫn có thể nắm bắt được những tính chất của các thế giới xa xăm đó. Và điều đó khả thi chính là vì các định luật vật lý không hề tỏ ra đỏng đảnh. Chúng không hề thay đổi từ thiên hà này sang thiên hà khác, từ nơi này sang nơi khác của Vũ trụ. Khối lượng của một nguyên tử ôxy hoặc điện tích của một electron tại các thiên hà xa xăm kia vẫn giống hệt như trên Trái đất vậy. Sự bất biến của các định luật vật lý trong không gian và trong thời gian sẽ cực kỳ có ích khi một ngày nào đó chúng ta có cơ hội tiếp xúc với một nền văn minh bên ngoài Trái đất. Lúc đó chúng ta sẽ có một tiếng nói chung, tiếng nói của các định luật Tự nhiên để mở đầu cho cuộc đối thoại!

Thế giới trong gương

Nếu các định luật của Tự nhiên bất biến trong thời gian và không gian thì liệu chúng có đối xứng gương? Đối xứng phải - trái này đã từng là nguồn cảm hứng cho các kiến trúc sư vĩ đại và đã đem lại vẻ đẹp cho các tòa lâu đài, các vườn cây trên Trái đất. Nói cách khác, liệu giữa bên phải và bên trái, Tự nhiên có thiên vị bên nào hay không? Liệu nó có cư xử giống như một bà chủ nhà gìn giữ chi li gia phong nền nếp, bao giờ cũng đặt vị khách mời danh dự ngồi ghế bên phải mình trong bàn tiệc hay không? Muốn trả lời những câu hỏi đó, ta cần phải đi vào thế giới trong gương.

Bạn hãy chọn bất kỳ một hiện tượng vật lý nào, ví dụ như sự va đập giữa hai viên bi-a, hoặc sự chuyển động của các kim đồng hồ. Rồi bạn cho tất cả phản chiếu qua gương. Luật chơi như sau: nếu thế giới phản chiếu trong gương theo đúng các định luật vật lý trong thế giới thực (ngoài gương), thì người ta nói rằng các định luật này có đối xứng gương. Ở thế giới trong gương, bên trái và bên phải bị đảo ngược, các viên bi-a chuyển động qua lại hoàn toàn ngược chiều với thế giới thực và kim đồng hồ cũng vậy. Song, không có một định luật vật lý đã biết nào bị vi phạm. Chúng vẫn có đối xứng phải - trái. Giống như trong truyện "*Alice ở xứ sở thần tiên*" của Lewis Carroll (1832-1898), bạn phải xâm nhập vào thế giới trong gương mới có thể kiểm chứng được đối xứng gương. Tất nhiên, thế giới này không giống hệt như thế giới bạn đang sống. Nếu bạn soi mình trong gương, người mà bạn nhìn thấy có khuôn mặt và nụ cười đúng là của bạn, nhưng vạt tóc rủ trên trán kia bây giờ ở bên trái thay vì ở bên phải, còn trái tim của bạn trong gương ở về bên phải thay vì bên trái, và những vòng xoắn kép của các phân tử ADN trong cơ thể bạn cuốn theo chiều ngược với chiều

bình thường. Song, không có một điều nào trong số đó vi phạm các định luật vật lý đã biết cả. Rất có thể đã có một sự cố trong quá trình tiến hóa sinh học, làm cho quả tim chúng ta hơi lệch về phía trái chứ không về phía phải. Các nhà hóa học đã thành công trong việc điều chế ở phòng thí nghiệm những phân tử giống hệt hình ảnh nhìn thấy trong gương của các phân tử có trong Tự nhiên. Chúng có cùng những tính chất vật lý như các phân tử gốc. Chính vì thế, nếu bạn cùng với Alice đi vào thế giới trong gương và gặp một nhà vật lý có trái tim lệch sang bên phải, và nếu bạn yêu cầu ông ta mô tả các định luật vật lý đang chi phối thế giới trong gương của ông ta, thì các định luật này giống các định luật vật lý trong thế giới thực tới mức bạn phải rút ra kết luận rằng các định luật vật lý cũng có đối xứng gương.

Các hạt nhân mẹ và con

Liệu kết luận của bạn có đúng hay không? Tự nhiên có thật sự vô tư hay không đối với bên phải và bên trái? Cho đến tận năm 1956, tất cả các nhà vật lý đều nghĩ rằng Tự nhiên là vô tư, không hề thiên vị bên nào. Ý tưởng cho rằng Tự nhiên có thể thiên vị một bên so với bên kia, giống như bà chủ nhà luôn đặt vị khách danh dự ngồi vào ghế bên phải mình, được xem là chướng tai. Tuy nhiên, Tự nhiên đã làm cho các nhà vật lý vốn quá tin vào bản thân mình phải tỉnh ngộ.

Vào giữa những năm 1950, những máy gia tốc mới xuất hiện, có khả năng phóng hết tốc lực những chùm hạt cơ bản của vật chất, cho chúng va chạm vào nhau. Vật chất bị đập vỡ thành nghìn mảnh, sản sinh ra vô vàn những hạt cơ bản mới. Đặc biệt, có một nhóm hạt xuất hiện hoàn toàn bất ngờ, chúng có những tính chất

bí hiểm đến mức các nhà vật lý, do thiếu thông tin, đã gọi chúng là "các hạt lạ". Các hạt mới này không tồn tại vĩnh viễn, sau một khoảng thời gian, chúng sẽ phân rã một cách tự phát và trong quá trình phân rã, hành trạng của chúng không phù hợp với các định luật vật lý đã biết. Hai nhà vật lý Trung Quốc làm việc tại Mỹ tên là Dương Chấn Ninh (1922 -) và Lý Chính Đạo (1926 -) đã dày công nghiên cứu vấn đề này. Họ đã buộc phải đi đến kết luận rằng hành trạng của các "hạt lạ" chỉ có thể hiểu được nếu người ta vứt bỏ hoàn toàn một trong những định đề thiêng liêng nhất của vật lý: ý tưởng cho rằng Tự nhiên có đối xứng phải - trái.

Làm thế nào để có thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm một đề xuất triệt để như thế? Hai ông Lý (Lee) và Dương (Yang) gợi ý phải quan sát hành trạng của một hạt nhân phóng xạ quay quanh mình nó. Song trước khi làm quen với hạt nhân phóng xạ, chúng ta hãy thâm nhập vào tâm của một nguyên tử. Tại đó bạn trước hết sẽ gặp hạt nhân nguyên tử được cấu tạo bởi những "viên gạch" cực nhỏ của vật chất, đó là các hạt proton mang điện tích dương và các nơtron không mang một chút điện nào. Proton và nơtron liên kết với nhau bởi một chất keo rất mạnh được gọi là "lực hạt nhân mạnh". Tiếp đó bạn sẽ làm quen với các electron, những "viên gạch" khác của vật chất, mang điện tích giống như các proton, nhưng với dấu ngược lại. Có bao nhiêu proton thì có bấy nhiêu electron trong một nguyên tử, khiến cho các điện tích tương ứng triệt tiêu lẫn nhau và nguyên tử trở thành trung hòa về điện. Nguyên tử chỉ có kích thước nhỏ bằng khoảng một phần trăm nghìn xentimet. Tuy vậy, thể tích của nó lại cực lớn so với thể tích của hạt nhân chỉ bằng một phần triệu tỷ (10^{-15}) của thể tích nguyên tử. Hạt nhân ở tâm của nguyên tử tựa như một hạt cát giữa một sân bóng đá rộng mênh mông. Các electron lượn lờ và tha hồ tung tẩy trong cái

phòng khiêu vũ mênh mông đó của nguyên tử. Bởi vì thể tích của hạt nhân rất nhỏ so với thể tích nguyên tử, cho nên vật chất xung quanh chúng ta, cái ghế mà chúng ta ngồi, cái bình cắm hoa trong phòng hay cuốn sách mà bạn cầm trên tay, tất cả các vật đó đều gần như chỉ được tạo thành bởi chân không ở thang nội nguyên tử!

Giống như tuyệt đại đa số các vật trong Vũ trụ, hạt nhân nguyên tử không đứng yên mà quay quanh mình nó. Sự quay ấy có một chiều rất xác định và chiều này định ra một hướng địa lý. Ví dụ, nếu hạt nhân quay từ Tây sang Đông như Trái đất thì cực Bắc ở phía trên và cực Nam ở phía dưới. Ngược lại, nếu nó quay theo chiều từ Đông sang Tây thì bây giờ các cực sẽ ở vị trí ngược lại: Bắc ở dưới và Nam ở trên. Chẳng hạn, nếu Trái đất quay theo hướng ngược lại thì Nhật Bản không còn là xứ xở Mặt Trời Mọc nữa mà là xứ sở của Mặt Trời Lặn, nước Úc sẽ nằm ở Bắc bán cầu, còn Alaska lại thuộc Nam bán cầu.

Bây giờ chúng ta hãy làm quen với hạt nhân của một nguyên tố được gọi là "phóng xạ". Phóng xạ là tính chất của một số hạt nhân nguyên tử tự phát mất đi một phần khối lượng của chúng bằng cách phóng ra các hạt hoặc các bức xạ điện từ. Hạt nhân gốc được gọi là "hạt nhân mẹ" biến đổi thành "hạt nhân con". Lực gây ra sự biến đổi phóng xạ này được gọi là "lực hạt nhân yếu" vì nó có cường độ rất nhỏ so với lực hạt nhân mạnh, là lực, như đã nói ở phần trên, liên kết proton với nơtron trong hạt nhân. Sự biến đổi đó được thực hiện bằng cách phóng ra một electron với vận tốc rất lớn. Đây là electron được tạo ra mới hoàn toàn, chứ không thuộc quần thể các electron lượn lờ bên trong nguyên tử. Các electron này ở cách xa hạt nhân và do đó không chịu tác động gì của sự biến đổi phóng xạ cả. Electron bị phóng ra đi theo một hướng rất xác định: Nam, Bắc hay một hướng trung gian nào đó.

Tự nhiên vi phạm đối xứng phải - trái

Chúng ta muốn biết sự biến đổi của một hạt nhân phóng xạ có tuân thủ sự đối xứng gương hay không. Để hiểu được điều đó, chúng ta sẽ làm như Alice là đi vào thế giới trong gương. Các định luật vật lý quyết định sự biến đổi của một hạt nhân phóng xạ, liệu có còn như nhau ở thế giới thực và ở thế giới trong gương hay không? Giả sử electron được phóng ra trong thế giới thực đi theo hướng Bắc, được xác định bởi chiều quay từ Tây sang Đông của hạt nhân. Vậy điều gì sẽ xảy ra ở thế giới trong gương? Hạt nhân ảnh gương sẽ quay theo chiều ngược lại, tức là từ Đông sang Tây, giống như các kim đồng hồ quay trong gương theo chiều ngược với chiều bình thường của nó. Song bởi vì chiều quay xác định hướng địa lý, nên chiều quay ngược lại có nghĩa là các cực Bắc và Nam sẽ đảo chỗ cho nhau. Trong gương, cực Bắc ở phía dưới, cực Nam ở phía trên. Electron đi về hướng Bắc trong thế giới thực sẽ đi về phía Nam ở thế giới trong gương. Một nhà vật lý của thế giới trong gương, với trái tim lệch về bên phải, quan sát hiện tượng này sẽ đi đến một kết luận ngược hẳn lại với kết luận của người bạn đồng nghiệp trong thế giới thực, với trái tim hơi lệch về bên trái. Trong mọi trường hợp, điều này là đúng đối với những gì có liên quan đến hành trạng của electron trong sự biến đổi của một hạt nhân phóng xạ.

Trong thực tiễn, thí nghiệm đã được thực hiện không phải với một mà với rất nhiều hạt nhân phóng xạ. Nhà vật lý quan sát kỹ các electron đến từ rất nhiều phân rã để xác định xem chúng có tỏ ra ưu tiên chọn một hướng nào đó hay không. Nếu Tự nhiên tôn trọng đối xứng gương thì trong thế giới thực, các electron bay theo hướng Bắc cũng nhiều như các electron bay theo hướng Nam. Và nhà vật lý của thế giới trong gương khi đó cũng sẽ quan sát thấy các electron bay theo hướng Nam và hướng Bắc là như nhau.

Ngược lại, nếu trong thế giới thực có nhiều electron bay theo hướng Nam hơn là bay theo hướng Bắc, thì trong thế giới gương, ắt có nhiều electron bay theo hướng Bắc hơn là hướng Nam. Hai tình huống này là hoàn toàn ngược hẳn nhau và như vậy đối xứng gương không còn được tuân thủ nữa. Trong trường hợp này, Tự nhiên không còn vô tư đối với bên phải hay bên trái nữa, mà nó sẽ cư xử như bà chủ nhà luôn đặt vị khách danh dự một cách không thay đổi vào chỗ ngồi bên phải của mình.

Lý và Dương đã thuyết phục được một trong những đồng nghiệp của họ là bà Chien Shiung Wu tiến hành thí nghiệm. Cũng là nhà vật lý Trung Quốc làm việc tại Mỹ, bà rất nổi tiếng vì đức tính giản dị, tao nhã và sự cẩn thận, tỉ mỉ trong công việc thí nghiệm của mình. Công việc mà Lý và Dương đề nghị không phải là dễ dàng, bởi vì ở những nhiệt độ bình thường như nhiệt độ trong phòng làm việc, các hạt nhân nguyên tử thường xuyên chuyển động hỗn loạn, khiến cho trục quay của chúng có thể nằm theo mọi hướng. Bà Wu đã phải làm lạnh chúng tới nhiệt độ rất thấp để làm dịu chuyển động nhiệt của chúng và buộc chúng phải có trục quay nhất loạt nằm theo hướng Nam Bắc. Sau đó, bà theo dõi rất kỹ lưỡng hướng của các electron bắn ra trong suốt quá trình biến đổi của các hạt nhân phóng xạ. Kết luận cuối cùng đã nhanh chóng được đưa ra: các electron tỏ ra có sự ưu tiên rõ rệt đối với hướng Nam và thường tránh hướng Bắc. Điều đó cho thấy rằng thế giới trong gương không tuân theo những định luật vật lý giống hệt như trong thế giới thực, ít ra đối với những gì có liên can đến sự phân rã của các hạt nhân phóng xạ. Vậy là khi đi sâu vào thế giới trong gương, Alice đã khám phá ra những quy tắc khác! Tin tức về việc Tự nhiên không tuân thủ đối xứng gương đã đem lại một cú sốc trong giới vật lý. Một trong những pháo đài của vật lý mà người

ta cho rằng không thể chiếm được đã bị thất thủ. Điều này cũng giống như một người có uy tín cao nhất lại phạm phải một điều sai lầm không thể tha thứ được.

Không phải bất cứ lúc nào và trong bất kỳ hoàn cảnh nào, Tự nhiên cũng vi phạm đối xứng gương. Nó chỉ vi phạm một cách có chọn lọc và hết sức thận trọng. Cụ thể là nó chỉ làm việc đó khi có lực hạt nhân yếu tham dự. Trong các tình huống bị chi phối bởi một trong ba lực còn lại, Tự nhiên lại tỏ ra rất tuân thủ đối xứng phải - trái. Bây giờ chúng ta hãy làm quen với ba lực ấy.

Trước hết là *lực hấp dẫn*: đó là lực gắn chúng ta với mặt đất và giữ cho chúng ta không bị trôi nổi trong không khí; và chính nó cũng làm cho chúng ta ngã sõng soài trên mặt đất khi bị vấp. Phạm vi hoạt động của lực này bao trùm toàn thể Vũ trụ. Chính lực này đã kiến tạo nên những cấu trúc kỳ vĩ của Vũ trụ từ các hành tinh, các vì sao, đến các đám sao, các thiên hà cho tới những cấu trúc lớn nhất là các siêu đám thiên hà.

Tiếp sau là *lực điện từ*: đó là lực giữ cho các nguyên tử, các phân tử và các vòng xoắn của ADN gắn kết với nhau. Phạm vi hoạt động của lực này là các đồ vật trong đời sống. Nó tạo ra những hình dạng làm chúng ta mê đắm và làm cho cuộc sống đáng được cảm nhận và đáng sống: những đường viền tinh tế của các cánh hoa hồng hay những đường nét tuyệt kỳ của các pho tượng của Rodin (1840-1917). Nó cũng cho các đồ vật trở nên rắn chắc. Cũng chính lực ấy đã làm cho bạn không thể đi xuyên qua tường và không thể đưa bàn tay cắt ngang qua các trang sách.

Và cuối cùng là *lực hạt nhân mạnh* mà chúng ta đã nói tới ở trên. Lực này có tác dụng liên kết các viên gạch vật chất, tức là các proton và nơtron, với nhau để tạo thành các hạt nhân nguyên tử. Phạm vi

hoạt động của nó chỉ giới hạn bên trong kích thước của hạt nhân nguyên tử, tức là một phần mười nghìn tỷ (10^{-13}) xentimét.

Chỉ cần một trong số ba lực ấy hiện diện là Tự nhiên lấy lại sự vô tư, không thiên vị của mình, và thế giới thực cũng như thế giới trong gương sẽ tuân thủ cùng các định luật vật lý.

Nơtrino và những người tình

Tại sao thiên nhiên lại không tuân thủ đối xứng phải-trái khi có lực hạt nhân yếu tham dự? Chìa khóa của vấn đề này nằm trong sự tồn tại của tên trộm thứ hai can dự vào sự biến đổi của một hạt nhân phóng xạ. Hạt nhân mẹ biến đổi thành hạt nhân con có khối lượng nhỏ hơn khi nó phóng ra một electron. Ít ra thì đây cũng là điều mà các nhà vật lý đương thời nghĩ như vậy. Song, Tự nhiên vốn tinh quái đã dành cho họ một sự ngạc nhiên lớn, khi họ muốn kiểm tra xem quá trình biến đổi có tuân thủ một trong số các nguyên lý cơ bản của vật lý, nguyên lý bảo toàn năng lượng hay không. Nguyên lý này nói rằng: trong một hệ cô lập, năng lượng toàn phần không được thêm và cũng không mất đi. Năng lượng có thể có hai dạng khả dĩ. Trước hết có năng lượng gắn kết với chuyển động: vận động viên điền kinh tiêu hao năng lượng trong khi chạy; chiếc xe hơi của bạn tiêu hao xăng dầu khi chạy (năng lượng này được gọi là động năng - ND). Einstein dạy ta rằng còn có dạng năng lượng thứ hai: năng lượng của khối lượng. Tất cả các vật có khối lượng đều có năng lượng này. Nó bằng khối lượng nhân với bình phương của vận tốc ánh sáng. Khi tính đến hai dạng năng lượng đó, các nhà vật lý đã làm một “bản cân đối” về năng lượng trong quá trình biến đổi của một hạt nhân phóng xạ. Năng lượng ban đầu bằng năng lượng ứng với khối lượng của hạt nhân mẹ. Năng lượng cuối cùng là tổng

của năng lượng ứng với khối của hạt nhân con, năng lượng ứng với khối lượng của electron và động năng của electron. Nguyên lý bảo toàn năng lượng nói rằng năng lượng cuối cùng phải đúng bằng năng lượng ban đầu. Tuy nhiên, điều làm cho các nhà vật lý rất kinh ngạc là họ phát hiện ra rằng không phải như vậy: năng lượng cuối cùng lại nhỏ hơn năng lượng ban đầu.

Vậy thì phần năng lượng thiếu đó chạy đi đâu? Nhà vật lý người Áo Wolfgang Pauli (1900-1958), một trong số những người sáng lập ra cơ học lượng tử, đã có một đề xuất thiên tài vào năm 1931. Ông thừa nhận sự tồn tại của một hạt mới mà động năng của nó đúng bằng năng lượng thiếu hụt. Để giải thích tại sao cái hạt bí hiểm này lảng tránh được sự chú ý của mọi người, ông đã gán cho nó những đặc tính kỳ lạ: không có khối lượng (do đó không có năng lượng của khối lượng), cũng không có điện tích, chuyển động với vận tốc ánh sáng và chỉ tương tác với lực hạt nhân yếu. Các lực hấp dẫn, điện từ và hạt nhân mạnh không hề có một tác động gì đến nó cả. Và chính sự thiếu tương tác này đã làm cho hạt đó ít bộc lộ, bởi vì những máy dò tìm các hạt cơ bản vốn được cấu tạo bằng vật chất thông thường, nên trong đó chỉ có lực điện từ và lực hạt nhân mạnh tác dụng. Tựa như một hồn ma kín đáo lướt đi trong màn đêm dày đặc, nên trước đó, hạt mới này đã trốn thoát.

Nhà vật lý người Italia là Enrico Fermi (1901-1954) ngay lập tức trở thành người ủng hộ nhiệt thành cho hạt do Pauli tưởng tượng ra và đặt tên cho nó là nơtrino (tiếng Italia có nghĩa là hạt nơtron nhỏ). Cần nhắc lại rằng hạt này cũng không có điện tích giống như nơtron là hạt được nhà vật lý người Anh James Chadwick (1891-1974) phát hiện vào năm sau (1932). Song để phân biệt nó với nơtron, cần lưu ý rằng nơtron có khối lượng lớn hơn rất nhiều, thậm chí còn lớn hơn chút ít so với khối lượng của proton.

Trái với một số nhà vật lý đương thời thích sáng chế ra các hạt cực kỳ vô lý và khó dò tìm nhất để giải thích những hiện tượng cỏn con, Pauli nghĩ rằng có lẽ ông đã phạm một sai lầm tồi tệ đối với một nhà vật lý: đó là thừa nhận sự tồn tại của một hạt cơ bản mà không bao giờ có thể kiểm chứng được. Về điều này thì ông đã nhầm. Xác suất để một nơtrino tương tác với một hạt nhân nguyên tử chắc chắn là rất nhỏ bé, nhưng không phải bằng không. Những cơ may xảy ra tương tác đó có thể tăng lên gấp bội khi đặt thật nhiều nguyên tử trên đường đi của nơtrino, chẳng hạn nhờ một thùng chứa chất lỏng có dung tích cực lớn. Hơn nữa, cũng cần phải trang bị cho mình lòng kiên nhẫn, bởi vì sự đợi chờ một tương tác của nơtrino với các nguyên tử vật chất có thể kéo dài hàng tháng, thậm chí hàng năm. Với một tinh thần làm việc miệt mài và say mê, các nhà vật lý Mỹ Frederich Reines (1918-) và Clyde Cowan cuối cùng đã nhìn thấy nơtrino vào năm 1955, khẳng định trực giác thiên tài của Pauli. Hiện nay, nhiều chùm nơtrino được sản xuất ra hằng ngày trong các máy gia tốc hạt như máy của CERN (Trung tâm nghiên cứu hạt nhân Châu Âu), tại Geneve. Vậy là giờ đây nơtrino đã có vị trí xứng đáng của mình trong vườn "bách thú" các hạt sơ cấp và không một ai còn có mảy may nghi ngờ gì về sự tồn tại của nó nữa.

Nơtrino đóng một vai trò cơ bản trong lịch sử cũng như trong quá trình tiến hóa của Vũ trụ. Lý thuyết Big Bang cho chúng ta biết rằng một lượng khổng lồ các nơtrino đã được sinh ra trong những phần đầu tiên của giây ngay sau vụ nổ nguyên thủy. Các nơtrino đầu tiên ấy đến nay vẫn còn lang thang trong Vũ trụ, và tạo nên ở đó loại hạt đứng thứ hai về số lượng, ngay sau các photon - là những hạt tạo nên bức xạ hóa thạch (còn gọi là bức xạ nền - nhiệt còn dư lại của ngọn lửa sáng thế). Vào lúc mà bạn đang đọc các

dòng chữ này, hàng trăm tỷ nơtrino sinh ra ngay từ buổi đầu khai sinh ra Vũ trụ vẫn đang đi xuyên qua cơ thể của bạn mỗi giây. Bị chinh phục bởi những đặc tính kỳ lạ của nó, nhà văn Mỹ John Updike (1932-) thậm chí đã viết một bài thơ về đề tài nơtrino như sau:

Chúng coi khinh những bức tường dày nhất,
Chẳng bận tâm sắt thép hay đồng đen,
Chúng thách thức cả ngựa nòi vạn dặm,
Và chẳng sá chi, đẳng cấp sang hèn,
Chúng xuyên hết qua tôi và các bạn.
Như lưỡi dao định mệnh chẳng gây đau,
Chúng dội xuống từ đầu đến tận chân, thảm cỏ
Đêm đêm chúng nhập vào cõi Niết bàn
Và xuyên thấu qua cả người đang thiu ngủ
Của những cặp tình nhân đang ôm ấp yêu thương.

Do các nơtrino rất ít tương tác với các hạt vật chất thông thường, nên số lượng đông đúc của chúng chưa bao giờ được các kính thiên văn và cả các máy thăm dò phát hiện được, bởi lẽ các thiết bị này cũng chỉ được làm bằng vật chất thông thường. Do vậy mà các nơtrino nguyên thủy vẫn chưa thể nắm bắt được.

Wolfgang Pauli cho rằng các nơtrino không có khối lượng. Giả thuyết này mới đây lại được đặt thành nghi vấn bởi các lý thuyết có tên là “lý thuyết thống nhất lớn”, những lý thuyết mưu toan thống nhất các lực cơ bản của Tự nhiên, trừ lực hấp dẫn, thành một lực duy nhất. Các lý thuyết này thực tế đã gán cho nơtrino một khối lượng. Mặc dù thậm chí khối lượng này là rất nhỏ, chỉ bằng một phần vạn khối lượng của một electron, nhưng các nơtrino sẽ thực

sự chiếm khối lượng chủ yếu của Vũ trụ do số lượng cực lớn của chúng. Trong trường hợp đó, tương lai của Vũ trụ sẽ thay đổi, bởi vì lực hút hấp dẫn bổ sung bởi khối lượng các nơtrino sẽ góp phần ngăn chặn sự giãn nở của nó, lật ngược lại chuyển động trốn chạy ra xa nhau của các thiên hà và sẽ gây ra một Big Crunch (Vụ co lớn, ngược với Big Bang). Song hiện nay vẫn chưa có một lý do nào để báo động cả. Mặc dù đã có nhiều cố gắng rất táo bạo, nhưng các nhà vật lý vẫn chưa dò tìm được một chút dấu vết nào của khối lượng các nơtrino. Hiện nay chúng vẫn nhẹ như ánh sáng và cho đến khi có những tín hiệu mới, sự giãn nở của Vũ trụ vẫn còn là điều hứa hẹn sẽ xảy ra mãi mãi.

Phản vật chất từ vũ trụ đến thăm chúng ta

Tự nhiên vứt bỏ đối xứng phải - trái khi có sự tham gia của lực hạt nhân yếu. Việc vi phạm đối xứng này làm cho nhiều nhà vật lý lo ngại và kích thích họ phải xem xét cẩn thận hơn một giả thuyết khác của vật lý đương đại được mọi người chấp nhận: đó là giả thuyết về đối xứng tuyệt đối giữa vật chất và phản vật chất. Trước năm 1929, phản vật chất còn chưa được ai biết tới. Vào năm đó nhà vật lý nổi tiếng người Anh Paul Dirac (1902-1984), một nhà sáng lập khác của cơ học lượng tử, đã tuyên bố một cách hùng hồn rằng ngay sự tồn tại của vật chất đã bao hàm sự hiện diện của phản vật chất. Dirac nhận thấy rằng nghiệm của những phương trình của ông bao giờ cũng đi từng cặp: mỗi nghiệm tương ứng với một electron có điện tích âm đều đi kèm với một nghiệm khác tương ứng với một hạt có cùng những tính chất (khối lượng, spin v.v...) như electron, nhưng mang điện tích dương. Lúc đầu Dirac nghĩ rằng phản-hạt của electron là proton, bởi vì proton có điện

tích đúng bằng, nhưng ngược dấu với điện tích của electron. Song không phải như vậy, bởi vì proton không có cùng khối lượng như electron. Trên thực tế nó nặng hơn gấp 1836 lần! Những sự kiện sau này đã khẳng định rằng các phương trình của Dirac không sai. Năm 1932, người ta đã khám phá ra hạt mà Dirac tiên đoán trong các tia vũ trụ. Chúng được các ngôi sao nặng trong cơn hấp hối bùng nổ phóng vào không gian và đã đến thăm Trái đất chúng ta. Các hạt này có cùng khối lượng như electron nhưng điện tích có dấu ngược lại. Phản-hạt của electron được gọi là "positron". Tương tự, người ta cũng đã phát hiện ra sự tồn tại của các phản hạt của proton và của nơtron, tức là phản-proton và phản-nơtron. Phản vật chất là hình ảnh của vật chất trong gương, tấm gương làm đảo dấu của các điện tích.

Tự nhiên thích vật chất hơn phản vật chất

Có một vấn đề được đặt ra: vậy thì Tự nhiên có đối xứng đối với vật chất và phản vật chất không? Để có câu trả lời, các luật chơi phải giống như các luật chơi trong trường hợp của đối xứng phải-trái. Hãy đi vào một phản thế giới và hỏi một phản-nhà vật lý về các định luật vật lý đang chi phối vũ trụ của ông ta. Nếu các định luật này cũng giống như các định luật đang chi phối thế giới thực của chúng ta, tức là Tự nhiên tuân thủ đối xứng vật chất - phản vật chất. Cho đến năm 1956 các nhà vật lý đều cho rằng đúng là như vậy. Họ có những lý do xác đáng để tin như vậy. Ngoại trừ điện tích ra, các tính chất vật lý khác của vật chất và phản vật chất đều như nhau. Một phản-proton có thể kết hợp với một phản-electron (tức positron) để tạo thành một phản-nguyên tử hyđrô. Các phản-nguyên tử lại có thể liên kết với nhau để tạo thành các phản-phân

tử. Các phản-phân tử, đến lượt mình, lại có thể liên kết với nhau để tạo ra các phản-axit amin và các phản-protein. Rồi các phản-protein này kết hợp với nhau thành những chuỗi xoắn kép của các phân tử phản-ADN. Các phân tử này sản sinh ra sự sống ở đâu đó trong một góc hẻo lánh của một phản-thiên hà, trên một phản-hành tinh xoay quanh một phản-Mặt trời. Trên phản-hành tinh này sẽ có một phản-bạn đang đọc một phản-cuốn sách. Cuộc sống của bạn và của phản-bạn tiến triển tương tự như nhau. Nếu mỗi người cứ sống trong cái góc của mình thì cuộc sống của họ sẽ tiếp tục đi theo một hành trình song hành. Song nếu bạn và phản-bạn gặp nhau và lại bắt tay nhau thì sẽ là một thảm họa: ngay tức khắc các vị sẽ biến thành hai photon ánh sáng, bởi vì vật chất trong cơ thể bạn sẽ hủy phản-vật chất trong cơ thể của phản-bạn, và tất cả chỉ còn là bức xạ...

Phản vật chất, về mọi phương diện, đều xử sự giống như vật chất vậy, chỉ có các dấu của điện tích là đảo ngược mà thôi. Việc không tuân thủ đối xứng phải - trái trong các tình huống có lực hạt nhân yếu chi phối đã khiến cho các nhà vật lý lo ngại. Họ vội vàng tiến hành kiểm nghiệm đối xứng vật chất - phản vật chất trong những tình huống ở đó lực hạt nhân yếu chi phối. Họ đặc biệt chú ý đến nơtrino và phản-hạt của nó (tức phản-nơtrino), là các hạt cơ bản chỉ rất nhạy cảm với lực yếu. Và lần này các nhà vật lý lại xem xét chiều quay của nơtrino. Hạt này quay xung quanh nó từ Tây sang Đông. Nếu đối xứng vật chất - phản vật chất được tuân thủ, thì phản-nơtrino cũng sẽ phải quay từ Tây sang Đông bởi vì không có gì được thay đổi, ngoại trừ điện tích. Một lần nữa các nhà vật lý lại tốn công vô ích: phản-nơtrino vẫn cứ bướng bỉnh quay theo chiều ngược lại. Điều đó nói lên rằng: đối xứng vật chất - phản vật chất đã bị vi phạm.

Kết quả này không hoàn toàn bất ngờ. Dù sao chúng ta cũng đang sống trong một vũ trụ của vật chất. Đây đó không có những túi phản vật chất nằm phục trong bóng tối, sẵn sàng xuất hiện để làm tiêu ma vật chất. Bạn sẽ không biến thành ánh sáng khi bắt tay một người bạn hoặc khi ngồi trên một chiếc ghế. Đó là điều sẽ xảy ra khi người bạn của bạn hoặc chiếc ghế chứa đựng phản vật chất. Xác suất tìm thấy một phản-bạn ở đâu đó trong Vũ trụ là cực kỳ nhỏ. Điều đó là bởi vì các tia vũ trụ - những cơn gió các hạt tích điện này – đến từ rìa của thiên hà chúng ta, cách xa chúng ta hàng vạn năm ánh sáng và nói cho chúng ta biết rằng: chúng thực tế chỉ chứa vật chất, mà chủ yếu là các proton.

Bởi vì chúng ta đang sống trong một Vũ trụ được tạo thành chủ yếu bởi vật chất, nên Tự nhiên không thể hoàn toàn tỏ ra vô tư, không thiên vị đối với vật chất và phản vật chất. Nếu nó không thiên vị thì chắc chắn đã có một số lượng ngang nhau của vật chất và phản vật chất ngay từ những phần giây tồn tại đầu tiên của Vũ trụ, khi mà nó còn cực nóng, đặc và nhỏ (nhỏ hơn kích thước của hạt nhân nguyên tử hàng trăm tỷ tỷ lần). Và rồi vật chất và phản vật chất sẽ hủy nhau và chỉ còn một vũ trụ tràn ngập ánh sáng. Các hạt cơ bản, các vì sao, các thiên hà, các hành tinh, con người, bạn và tôi đều vắng bóng. Vũ trụ sẽ cằn cỗi và chúng ta cũng sẽ không có mặt để nói về nó. Trên thực tế, các quan sát thiên văn cho ta thấy rằng so với phản vật chất, Tự nhiên chỉ có một phần tỷ ưu ái hơn đối với vật chất. Điều này có nghĩa là cứ mỗi tỷ phản-hạt xuất hiện từ chân không trong những phần giây tồn tại đầu tiên của Vũ trụ, thì có một tỷ lẻ một hạt xuất hiện. Một tỷ hạt và một tỷ phản-hạt sẽ hủy nhau trong một cuộc cuồng hoan hủy diệt, và chỉ còn lại một tỷ photon cùng với một hạt vật chất duy nhất thoát khỏi cuộc tàn sát đó, do không còn một phản hạt nào. Toàn bộ phản vật

chất đã biến mất như vậy. Tỷ lệ một tỷ trên một giữa số lượng các hạt ánh sáng và số lượng các hạt vật chất hoàn toàn phù hợp với những gì quan sát được trong Vũ trụ hiện nay.

Sự thay đổi tính khí của Tự nhiên

Như vậy là Tự nhiên không tuân thủ đối xứng phải - trái cũng như đối xứng vật chất - phản vật chất, khi nó có dính líu đến lực hạt nhân yếu. Dường như Tự nhiên không chịu khuất phục trước những thứ làm thỏa mãn trí tuệ con người: đó là sự đối xứng toàn bộ và hoàn hảo. Song các nhà vật lý không chịu bó tay. Họ tự nhủ rằng hai điều xấu có thể dẫn đến một điều tốt. Rất có thể là khi đảo ngược cùng một lúc phải - trái và dấu các điện tích, thì sự đối xứng sẽ được tuân thủ.

Luật chơi vẫn là như vậy: chúng ta hãy lấy một tấm gương thần kỳ có khả năng đảo ngược không những phải - trái mà còn đảo ngược cả dấu các điện tích. Các định luật vật lý diễn tả thế giới thần kỳ này có phải cũng chính là các định luật đang chi phối thế giới thực của chúng ta? Nhưng hy vọng của các nhà vật lý đã sớm bị tiêu tan. Vào năm 1964, hai nhà vật lý Mỹ Valentin Fitch (1923-) và James Cronin (1931-) đã chứng minh được rằng Tự nhiên cũng không tuân thủ đối xứng là tổ hợp của sự đảo ngược phải - trái và đảo dấu điện tích, như khi chúng được xem xét một cách riêng rẽ. Hai nhà vật lý trên đã quan sát rất kỹ sự phân rã của một hạt vật chất được gọi là "meson K". Nếu Tự nhiên tuân thủ đối xứng là tổ hợp của đối xứng phải - trái và đối xứng vật chất - phản vật chất, thì "meson K" sẽ phân rã thành hai hạt khác có tên là "meson Pi". Điều này vẫn thường xảy ra trong đại đa số trường hợp. Song thi thoảng, trong số vài nghìn phân rã thông thường, Tự nhiên lại tỏ

ra hơi đỏng đảnh. "Meson K", thay vì phân rã thành hai "meson Pi", lại phân rã thành ba. Điều này vi phạm đối xứng. Sự vi phạm thất thường này là điều gây phiền phức nhiều nhất. Tự nhiên tỏ ra đỏng đảnh, tính khí thay đổi đột ngột và không thể tiên đoán được. Tình hình khác hẳn, khi đối xứng phải - trái và đối xứng vật chất-phản vật chất bị vi phạm một cách riêng rẽ. Những dấu hiệu của sự bất tuân thủ đối với đối xứng chắc hẳn cũng rất choáng váng, song ít ra thì trong trường hợp này, Tự nhiên cũng có cái hay là đã vi phạm đối xứng một cách có hệ thống. Nó thủy chung trong sự bất tuân thủ. Và ít nhất thì các nhà vật lý cũng biết họ đang chờ đợi điều gì. Với sự vi phạm thất thường đối xứng tổ hợp của đối xứng phải-trái và đối xứng vật chất - phản vật chất, Tự nhiên đôi lúc như muốn chế nhạo các nhà vật lý quá tò mò về những điều bí mật của nó. Thêm vào tính thất thường nhiễu sự này, Tự nhiên lại vi phạm đối xứng một cách cực kỳ có chọn lọc: nó chỉ làm việc đó trong quá trình phân rã của các "meson K". Trong suốt hơn hai mươi năm làm việc kiên trì, các nhà vật lý chưa bao giờ quan sát thấy sự vi phạm đối xứng đó trong các trường hợp khác.

Để kết thúc cuộc khám phá ban đầu các đối xứng trong Tự nhiên, chúng ta hãy làm một bản tổng kết sau. Trong đại đa số các trường hợp, khi các lực hấp dẫn, điện từ và hạt nhân mạnh có vai trò chủ đạo, thì Tự nhiên tuân thủ rất chặt chẽ cả đối xứng phải - trái lẫn đối xứng vật chất - phản vật chất. Nó chỉ vi phạm hai đối xứng đó khi có lực hạt nhân yếu tham gia. Khi ấy, nó có thể không tuân theo một trong hai đối xứng đó một cách tách biệt, hoặc vi phạm tổ hợp của hai đối xứng đó. Trong trường hợp sau, Tự nhiên tỏ ra quá phóng túng và đỏng đảnh, nó chỉ vi phạm đối xứng tổ hợp đó một cách thất thường trong phân rã của các "meson K". Song Tự nhiên cũng lắm thủ đoạn và tỏ ra cực kỳ tinh tế. Nó còn

bộc lộ các đối xứng tinh vi hơn rất nhiều; các đối xứng này thống nhất và liên kết các hiện tượng và khái niệm vật lý mà ban đầu tưởng như hoàn toàn khác nhau và tách rời nhau. Các hiện tượng như điện và từ. Các khái niệm như thời gian và không gian. Dưới đây chúng ta sẽ xem xét các đối xứng đó.

Một hòn đảo có tên là Magnesie

Các hiện tượng điện và từ luôn có sự hấp dẫn sâu sắc đối với trí tưởng tượng của con người. Người Hy Lạp cổ xưa đã nhận thấy rằng một miếng hổ phách được cọ xát có khả năng hút những mẩu giấy nhẹ. Mặc dù chưa biết điều đó, nhưng trẻ em ngày nay thường lặp lại kinh nghiệm đó bằng cách cọ xát một chiếc lược làm bằng chất dẻo. Dân chúng Hy Lạp cũng biết rằng trên hòn đảo Magnesie có một loại đá có khả năng kỳ lạ là hút các vật bằng sắt. Người Trung Quốc cũng đã sử dụng các đá này, được gọi là manhêtít, để làm các la bàn chỉ hướng Bắc cho các nhà thám hiểm.

Qua nhiều thời đại, nhiều hiểu biết mang tính kinh nghiệm đó đã được tích tụ ở nơi này nơi kia, song chưa được tổ chức và hệ thống hóa lại. Những phát hiện đó đều được thực hiện không có chủ định, nên sự tiến bộ diễn ra chậm chạp và lẻ tẻ. Điện và từ được coi là những hiện tượng hoàn toàn riêng biệt, không có liên quan gì với nhau cả.

Nhà vật lý người Pháp Charles de Coulomb (1736 -1806) là một trong số những người đầu tiên đem lại ít nhiều trật tự trong cả núi những hiểu biết hỗn độn này. Ông xác định được rằng lực điện giữa hai vật "nhiễm điện" thay đổi tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai vật đó. Nếu bạn làm cho khoảng cách ấy tăng gấp 10 lần thì lực điện sẽ yếu đi 100 lần. Sự phụ thuộc của lực điện vào

khoảng cách cũng hoàn toàn giống như lực hấp dẫn. Lực này cũng giảm theo cách nghịch đảo với bình phương khoảng cách giữa hai vật. Song, trái với lực hấp dẫn luôn luôn là lực hút, lực điện có thể hút và cũng có thể đẩy. Nó là hút khi hai điện tích trái dấu và là đẩy khi chúng mang điện cùng dấu (cùng dương hoặc cùng âm). Mỗi chúng ta đều mang trong cơ thể mình sự pha trộn của điện tích âm (của electron) và điện tích dương (của proton trong hạt nhân nguyên tử). Đến đây bạn có thể hỏi: vậy thì tại sao chúng ta lại không bị hút hoặc bị đẩy bởi những người khác. Sở dĩ như vậy là bởi vì tạo hóa đã luôn luôn xếp đặt sao cho trong các vật của đời sống hằng ngày, có bao nhiêu điện tích dương thì cũng có bấy nhiêu điện tích âm, cho dù đó là một cơ thể người, một cái cây hay một cuốn sách. Sự cân bằng đó hoàn hảo đến mức tổng điện tích, và do đó cả lực điện nữa, luôn luôn bằng không. Nếu một người đàn ông bị một người đàn bà "hút" thì đó không phải là do lực điện. Nếu trong cơ thể người đàn ông và người đàn bà chỉ cần có số electron nhiều hơn số proton 1% thôi, thì họ sẽ đẩy nhau bởi một lực điện cực mạnh, đủ để nâng cả Trái đất lên!

Con ếch của Galvani

Bước tiến vĩ đại tiếp sau đã được thực hiện nhờ một phát hiện tình cờ, trong một lĩnh vực nghiên cứu ít mong đợi nhất. Đó là việc nghiên cứu giải phẫu những con ếch. Vào năm 1789, trong khi cuộc cách mạng đang diễn ra sôi động trên các đường phố Paris, thì nhà vật lý kiêm bác sĩ người Italia là Luis Galvani (1737-1798) vẫn miệt mài phẫu tích các con ếch. Ông đã nhận thấy một sự kiện kỳ lạ: khi tiếp xúc với kim loại của dao mổ, các bắp cơ của con ếch bị lột da co giật giống như nó bị một luồng điện chạy qua vậy. Sự giải thích này hóa ra hoàn toàn đúng đắn. Ngày nay chúng

ta đều biết rằng các xung điện thường xuyên chạy qua các dây thần kinh và các cơ bắp trên cơ thể chúng ta. Một nhà vật lý người Italia khác là bá tước và thượng nghị sĩ Alessandro Volta (1745-1827) đã thực hiện được một bước nhẩy vọt về khái niệm sau đây: ông hiểu rằng con ếch của Galvani không có ý nghĩa gì lớn đối với việc sản sinh ra dòng điện cả, mà nguyên nhân chính là do các mô và các chất dịch trong cơ thể của con vật này. Từ đó ông suy ra rằng mình cũng có thể tạo ra dòng điện bằng cách thay con ếch bằng một chất lỏng hóa học và thay con dao mổ bằng những mảnh kim loại ngâm trong chất lỏng đó. Và thế là pin điện đã ra đời.

Tiến bộ có tính quyết định sau đây đã được thực hiện bởi nhà vật lý Đan Mạch Hans Christian Oersted (1777-1855). Ông là người đầu tiên xác lập được mối liên hệ mật thiết giữa các hiện tượng điện và từ. Ông nhận thấy rằng một dòng điện có thể làm lệch kim la bàn. Bởi vì la bàn chỉ nhạy cảm với các hiện tượng từ, điều này nói lên rằng dòng điện đã sản sinh ra từ trường. Điện từ trường, kết quả của sự thống nhất giữa điện và từ, đã hiển hiện trước mắt ông.

Các đường sức

Rồi một diễn viên mới đã bước ra sân khấu: đó là nhà vật lý người Anh Michael Faraday (1791-1867). Nổi tiếng là một trong số những nhà thực nghiệm vĩ đại của thời đại mình, ông đã có một số phận thật lạ lùng. Sinh ra trong một môi trường không mấy thuận lợi, là con trai của một người thợ rèn, Faraday không được học hành tử tế như đại đa số các đồng nghiệp của mình Ông cũng không được đào tạo một cách nghiêm chỉnh về vật lý. Ông say mê điện ngay từ thời niên thiếu, hồi còn làm nhân viên trong một cửa

hiệu sách. Tình cờ ông được đọc mục viết về điện trong cuốn *Bách khoa thư Britannica* và ông đã bị nó chinh phục hoàn toàn. Ông cần mẫn tới tham dự những cuộc nói chuyện cho công chúng về điện do nhà hóa học nổi tiếng Humphrey Davy (1778-1829) thuộc Viện Hàn lâm Hoàng gia Luân Đôn thuyết trình. Và rồi vận may đã đến với ông. Bị thuyết phục bởi nhiệt tình và trí thông minh của chàng trai trẻ, Davy đã nhận Faraday vào làm việc tại phòng thí nghiệm của ông ở Luân Đôn như một trợ lý. Faraday bắt đầu học ngay tại chỗ cách thức tiến hành một thí nghiệm vật lý và chẳng bao lâu trò đã vượt thầy. Điều này không khỏi gây cho Davy một sự ghen tị nhất định. Ông ta đã tìm đủ mọi cách thọc gậy bánh xe, hòng làm chậm trễ sự tiến bộ của người học trò trên con đường sự nghiệp của mình. Nhưng vô ích. Chính ông ta đã phải cay đắng thừa nhận rằng trong số tất cả những khám phá của ông, việc phát hiện ra tài năng của Faraday, có lẽ, là khám phá sáng giá nhất. Trong số vô vàn những công trình thực nghiệm có giá trị cao của Faraday, cần phải nhắc lại ở đây công trình sau. Vào năm 1831, Faraday đã tìm ra câu trả lời cho vấn đề đã từng làm đau đầu các nhà vật lý: liệu Tự nhiên có đối xứng đối với điện và từ hay không? Nếu, như Oersted đã phát hiện, một dòng điện có thể sinh ra một từ trường thì điều ngược lại liệu có đúng không? Một từ trường liệu có thể sinh ra một dòng điện không? Faraday đã chứng minh được rằng điều đó có thể xảy ra, nhưng với một điều kiện: từ trường phải biến thiên. Một thỏi nam châm đứng yên sinh ra một từ trường tĩnh, nhưng không sản sinh ra bất kỳ dòng điện nào. Chỉ khi nào người ta dịch chuyển thỏi nam châm, tức là làm thay đổi từ trường, thì mới xuất hiện một xung điện chạy qua một vòng dây đặt bên cạnh. Người ta cũng thu được kết quả y như thế khi làm dịch chuyển một vòng dây dẫn trong từ trường tĩnh của một nam châm bất động.

Vững tin vào kết quả của những thí nghiệm của mình, Faraday bắt đầu suy ngẫm về bản chất của lực điện. Trước Faraday, người ta đã biết rằng có hai loại điện: âm và dương, song người ta chưa biết chúng có thật sự khác biệt nhau không hay chúng chỉ là một, điện dương chẳng qua chỉ thể hiện sự có mặt của một chất lỏng điện, còn điện âm thể hiện sự không có mặt chất lỏng đó. Việc lực điện có thể tác dụng từ xa, có thể làm lệch kim la bàn mà không cần có sự tiếp xúc trực tiếp nào, đã làm cho nhiều bộ óc phải trăn trở. Hồi đó người ta cho rằng điện có thể có một bản chất kép: nó không chỉ được tạo bởi các điện tích tĩnh, có thể hút các mẩu giấy và lưu chuyển như một thứ chất lỏng qua các dây điện, mà, do có khả năng tác dụng từ xa, nó còn phải có một đặc tính phi vật chất cho phép nó xuyên qua mọi vật chắn bằng kim loại và lan truyền trong không gian.

Faraday đã quét sạch tất cả các khái niệm đó. Chính do con đường học vấn của ông ít mang tính chính thống, nên Faraday đã không bị trì kéo và kìm hãm bởi toàn bộ hành trang những tư tưởng sẵn có, mà được tự do đi tới những chỗ mà trực giác của ông dẫn dắt. Để hiểu được tác dụng từ xa của các lực điện và từ, ông tưởng tượng ra các đường sức xuất phát từ một điện tích hoặc từ một cực của nam châm, rồi triển khai vào không gian và tạo nên ở đó một điện trường hay từ trường rộng lớn. Ở gần điện tích hoặc một cực của nam châm, các đường sức sít nhau, trường và lực ở đó là mạnh. Ở xa hơn, các đường sức tách ra xa nhau và trở nên thưa thớt hơn, cường độ của trường và lực cũng nhỏ hơn. Lực điện giảm tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách, đúng như Coulomb đã linh cảm. Một điện tích thứ hai hoặc một nam châm thứ hai đặt trong điện trường hay từ trường tương ứng sẽ cảm thấy ngay tác dụng của lực này. Như vậy là các điện tích hoặc

nam châm không tác dụng trực tiếp lên nhau, mà tác dụng thông qua một trường lực do điện tích hoặc nam châm gây ra. Những ý tưởng của Faraday ngay tức khắc đã có những hệ quả thực tiễn to lớn. Nhờ có sơ đồ khái niệm về các đường sức, giờ đây người ta có thể biến chuyển động cơ học thành điện năng (ví dụ bằng cách cho một khung dây quay trong từ trường của một nam châm, chẳng hạn) hoặc biến dòng điện thành chuyển động cơ học. Thời đại của các máy phát điện và các động cơ điện mở đầu từ đó.

Mặc dù đã có tiếng vang rất lớn trên thực tiễn, nhưng những ý tưởng của Faraday vẫn bị các nhà vật lý đương thời đón nhận với một sự hoài nghi. Do được đào tạo bằng tự học là chính, Faraday không có đủ kiến thức toán học cần thiết để chứng minh một cách chặt chẽ các ý tưởng của mình. Vinh dự thuộc về một trong số những đồng hương của ông, đó nhà vật lý Xcôtlen James Clerk Maxwell (1831-1879).

Cuộc hôn phối giữa điện và từ

Khác với Faraday, Maxwell xuất thân từ một gia đình sung túc ở Xcôtlen và đã được đào tạo rất bài bản ở trường Đại học Cambridge. Rất có ấn tượng về trí tưởng tượng phong phú và trí tuệ sắc sảo của Faraday, Maxwell tin tưởng rằng Faraday đã đi đúng hướng, các đường sức do Faraday tưởng tượng ra là có thực và các điện tích tác dụng lẫn nhau đúng là thông qua một trường lực. Và ông đã đóng góp tài năng toán học to lớn của mình vào việc lượng hóa những trực giác của Faraday. Năm 1873, ông chắt lọc toàn bộ kiến thức đã tích lũy được về điện và từ trong suốt thế kỷ trước và tổng kết chúng thành bốn phương trình toán học bậc thầy, mà sau này người ta gọi là “các phương trình Maxwell”. Các phương trình này

chính là sự hành lễ cho cuộc hôn phối giữa điện và từ; đó cũng là bản tụng ca vai trò đối xứng của chúng trong thiên nhiên. Chỉ với giấy và cây bút trong tay, bằng trí tuệ thiên tài của mình, Maxwell đã thống nhất điện và từ - hai hiện tượng tới lúc đó vẫn được xem là tách biệt - thành một trường điện từ duy nhất. Các phương trình Maxwell mô tả trường điện từ biến thiên như thế nào theo thời gian và không gian. Một phương trình, chẳng hạn, cho ta biết điện trường biến đổi như thế nào trong không gian, khi hiện diện một từ trường biến thiên theo thời gian. Một phương trình khác lại cho biết điện trường phân bố ra sao xung quanh một điện tích...

Nhưng các phương trình của Maxwell còn bộc lộ một sự thật hoàn toàn bất ngờ: đó là sự tồn tại của các sóng điện từ. Đây là dấu hiệu của những phương trình hay những lý thuyết có tầm cỡ vĩ đại: những phương trình đó có cuộc sống riêng và luôn làm cho những người đã tạo ra chúng phải kinh ngạc khi chúng thường xuyên hé mở nhiều điều mới lạ, mà chính các tác giả, những người đã khai sinh ra chúng cũng không ngờ tới.

Thực tế, các phương trình Maxwell trình bày kịch bản sau đây: một điện trường biến thiên theo thời gian sản sinh ra một từ trường, nhưng bằng sự xuất hiện của mình, từ trường này cũng biến thiên theo thời gian và lại sản sinh ra điện trường, rồi đến lượt mình, điện trường này lại sinh ra một từ trường, và quá trình cứ tiếp diễn như thế mãi. Điện từ trường lan truyền trong không gian giống như sóng lan tỏa trên mặt hồ phẳng lặng khi ta ném một hòn đá xuống. Maxwell đã tính được rất chính xác vận tốc lan truyền của sóng điện từ này. Đáp số thật bất ngờ và kỳ lạ: vận tốc lan truyền của sóng điện từ lại đúng bằng vận tốc ánh sáng (300.000km/s). Như vậy, sóng điện từ không là gì khác, chẳng qua nó cũng như ánh sáng mà thôi. Thật giống như một trò ảo thuật:

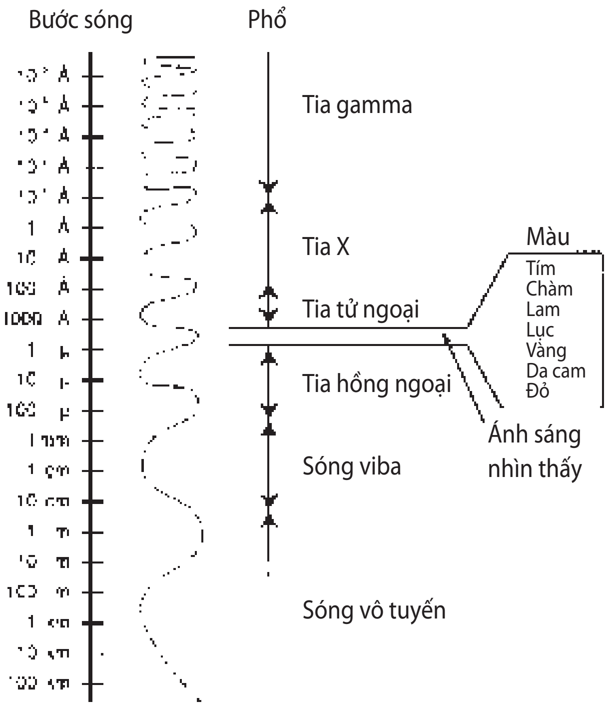
đùng một cái, không chỉ điện và từ đã được thống nhất, mà cả một lĩnh vực khác của vật lý - quang học, khoa học nghiên cứu về ánh sáng, mà người ta vốn tưởng là một lĩnh vực riêng biệt - cũng lại tụ về dưới ngọn cờ của trường điện từ. Các định luật của quang học đã được nhà bác học Anh Isaac Newton và nhà vật lí người Hà Lan Christians Huygens (1629 - 1695) tốn bao công sức tìm ra, nay cũng nằm trong các phương trình của Maxwell. Và Maxwell có thể chúc mừng thắng lợi của mình bằng câu nói gần giống như trong kinh thánh: “Phải có điện và từ, liền có ánh sáng!”.

Những ánh sáng mới

Phát minh này đã mở rộng tầm nhìn của nhân loại ra rất nhiều. Từ ngày đó, ánh sáng không còn chỉ giới hạn ở các sóng mà mắt người có thể nhìn thấy được nữa. Các sóng điện từ từ nay còn thể hiện dưới các dạng khác của ánh sáng. Như vậy là bảng màu ánh sáng của Tự nhiên đã trở nên phong phú một cách kỳ lạ. Con người giờ đây có thể sử dụng toàn bộ các ánh sáng tạo nên cái được gọi là “phổ điện từ” (H. 37) để giao tiếp với Tự nhiên và khám phá ra các bí mật của nó. Mỗi ánh sáng đều có hai đặc tính: năng lượng và bước sóng (bước sóng là khoảng cách giữa hai đỉnh kế tiếp nhau của sóng). Năng lượng ánh sáng càng cao thì bước sóng càng ngắn. Các tia gamma và tia X là những ánh sáng có năng lượng cao nhất có thể. Bước sóng của chúng chỉ bằng khoảng cách một phần mười tỷ xentimét. Chúng dễ dàng xuyên qua các mô của cơ thể người, vì thế người ta sử dụng các tia X để chụp phổi và phát hiện bệnh lao. Ánh sáng cực tím với bước sóng bằng vài phần triệu xentimét, có năng lượng nhỏ hơn, song vẫn đủ để làm cháy da và gây ra bệnh ung thư nếu như phơi nắng quá lâu. Tiếp đó, theo thứ tự năng lượng nhỏ dần là ánh sáng nhìn thấy vô cùng quí giá của

chúng ta, với bước sóng bằng vài phần trăm nghìn xentimét; rồi đến ánh sáng hồng ngoại với bước sóng cỡ micrômét; sau đó là ánh sáng viba (ánh sáng trong các lò vi sóng) có bước sóng cỡ vài milimét; và ánh sáng radio (thường gọi là sóng vô tuyến) là ánh sáng có năng lượng nhỏ nhất, với bước sóng biến thiên giữa vài xentimét và nhiều kilomét. Chính sóng ánh sáng này đã truyền các chương trình phát thanh hoặc truyền hình từ đài phát đến máy thu của bạn. Vào lúc bạn đang đọc những dòng này, các sóng điện từ đang bao bọc quanh bạn. Chúng tràn ngập trong căn nhà bạn và chỉ cần ấn nút, lập tức các sóng vô tuyến ấy biến thành âm thanh và hình ảnh, đó là một khúc nhạc Chopin tới ru bạn hay một bộ phim cao bồi viễn tây sẽ xuất hiện trên màn hình. Chắc hẳn Maxwell không hề ngờ rằng một ngày nào đó, khám phá thiên tài của ông sẽ dẫn đến cái màn ảnh nhỏ làm mê mẩn loài người và cướp đi của họ biết bao là thời gian! Chưa hết. Xen lẫn với các sóng radio còn có các sóng nhìn thấy, đến từ ánh sáng ban ngày xuyên qua cửa sổ, phản xạ trên bề mặt các đồ vật, để rồi tới mắt chúng ta và cho phép ta nhìn thấy chúng. Các sóng cực tím của Mặt trời và các sóng tia X đến từ vũ trụ, tất cả cũng đều hòa trộn trong biển sóng đó. Nói một cách ngắn gọn, một kính vạn hoa thực sự các sóng sáng gắn bó với chúng ta suốt cả cuộc đời.

Sự khám phá của Maxwell đã làm thay đổi hoàn toàn cung cách truyền thông của con người. Nó đã mở ra ngành viễn thông, một lĩnh vực vô cùng rộng lớn. Lý thuyết dự báo rằng: nếu ở một nơi nào đó người ta tạo ra một nhiễu động điện từ, ví dụ làm cho một điện tích chuyển động, thì nhiễu động đó sẽ lan truyền trong không gian với vận tốc ánh sáng, và người ta có thể thu được nó ở một nơi khác. Công nghệ này đã phải tốn nhiều thời gian mới theo kịp lý thuyết. Và thực tế, phải 14 năm sau sự thống nhất vĩ đại



Hình 37. *Phổ sóng điện từ*. Đây là tập hợp toàn bộ các bức xạ mà Vũ trụ phát ra, đi từ các tia gamma, bức xạ có năng lượng lớn nhất và bước sóng ngắn nhất, tới bức xạ vô tuyến (radio), các sóng có năng lượng nhỏ nhất và bước sóng dài nhất. Ánh sáng khả kiến mà mắt ta thấy được chỉ là một phần rất nhỏ của phổ sóng điện từ. Sự phù hợp của ánh sáng khả kiến với mắt chúng ta là một hệ quả của quá trình tiến hóa Darwin. Do Mặt trời phát phần năng lượng lớn nhất của nó dưới dạng ánh sáng khả kiến, nên Tự nhiên đã phú cho ta đôi mắt nhạy cảm với ánh sáng đó, để cho phép ta thích nghi với môi trường xung quanh và có thể sống sót được. Để khám phá Vũ trụ trong tổng thể rực rỡ của nó, nhà thiên văn phải xây dựng không chỉ các kính thiên văn quang học để thu ánh sáng khả kiến, mà cả các kính thiên văn tia gamma, kính thiên văn tia X, kính thiên văn tử ngoại, hồng ngoại và cả kính thiên văn vô tuyến nữa. Chỉ có các kính thiên văn quang học và vô tuyến là sử dụng được trên mặt đất, bởi vì chỉ có hai loại ánh sáng đó là xuyên qua được khí quyển của Trái đất. Những loại kính thiên văn khác phải được đưa ra ngoài khí quyển bằng các vệ tinh nhân tạo. Chú ý: $1\mu = 10^{-4}$cm; $1Å = 10^{-8}$cm.

của Maxwell, mãi đến năm 1887, nhà vật lý người Đức Heinrich Hertz (1857-1894) mới truyền được một tín hiệu từ máy phát đến máy thu đặt cách nhau không quá một mét. Như vậy là Hertz đã mở đường cho sự ra đời của điện báo vô tuyến bằng sóng điện từ, còn được gọi là "sóng hertz" để tưởng nhớ tới công lao của ông. Nhà khoa học người Italia tên là Guglielmo Marconi (1874-1937) sau đó đã tăng được đáng kể khoảng cách truyền và thực hiện được sự liên lạc đầu tiên xuyên qua Đại Tây Dương bằng sóng hertz, từ Cornowailles ở mũi Tây Nam nước Anh đến tận đảo Đất Mới (Terre-Neuve) ở ngoài khơi Québec (Canada), mở ra thời đại truyền thông liên lục địa bằng sóng vô tuyến.

Gần 150 năm sau chuyện con ếch của Galvani, các động cơ, máy phát điện và máy điện báo đã ra đời, báo hiệu một loạt những phát minh khác ào ạt tràn vào thế giới hiện đại. Rađa, máy thu thanh, máy thu hình, pin mặt trời, tranzito, các dàn âm thanh có độ trung thực cao, điện thoại, các con chíp (puce) và máy tính, sợi quang, máy fax, mạng Internet. Nhiều dụng cụ, cái sau kỳ lạ hơn cái trước, mà người ta tưởng rằng chỉ có thể thấy trong mơ, nay đã xuất hiện rất nhanh chóng. Chúng đã làm thay đổi sâu sắc lối sống của chúng ta, đến nỗi chúng ta không thể hình dung sẽ ra sao nếu thiếu chúng trong cuộc sống hằng ngày.

Song cái lợi không phải chỉ về mặt vật chất mà còn cả về mặt tinh thần nữa. Bởi vì các sóng điện từ là ánh sáng, nên có thể nói sự thống nhất vĩ đại của Maxwell đúng là đã chiếu sáng sự tồn tại của chúng ta. Nó cho phép chúng ta giao tiếp với phần còn lại của vũ trụ. Chuyển động của các electron và proton trong khí quyển của một ngôi sao heo hút ở đầu xa tít tắp của dải Ngân Hà, những xung điện trong lòng một thiên hà xa xăm, đều sản sinh ra ánh sáng. Thứ ánh sáng này vượt qua những khoảng không gian bao la

trong cuộc phiêu du giữa các thiên hà và các vì sao, mất hàng triệu, thậm chí hàng tỷ năm, để cuối cùng được thu bởi các kính thiên văn và đến kích thích các electron trong võng mạc của mắt chúng ta. Các định luật của Maxwell đã nối liền chúng ta với các vì sao và các thiên hà, đã hòa nhập chúng ta với vũ trụ bao la.

Ête không trọng lượng

Mặc dù Hertz và Marconi đã thành công trong việc truyền sóng điện từ qua không gian với tốc độ ánh sáng, nhưng một vấn đề vẫn làm cho các nhà vật lý cùng thời với Maxwell phải trăn trở: nếu các tín hiệu rađio truyền trong không gian gần giống như những đợt sóng trên bề mặt đại dương, vậy thì cái gì đã làm nên đại dương đó? Cái gì là giá đỡ vật chất để cho các sóng đó có thể lan truyền đi? Theo Maxwell, trường điện từ tồn tại độc lập với mọi giá đỡ vật chất, song điều đó còn chưa đủ để thuyết phục các đồng nghiệp của ông. Họ bèn sáng chế ra một loại chất lưu giả định, đàn hồi và không trọng lượng, và cho rằng các sóng ánh sáng được lan truyền trong chất lưu đó. Họ gọi chất lưu ấy là ête, giống như người Hy Lạp xưa kia đã từng dùng thuật ngữ đó để chỉ cái chất lưu vi diệu lấp đầy trong không gian, bên ngoài bầu khí quyển Trái đất.

Có một cách rất đơn giản để kiểm chứng sự tồn tại của chất ête này. Trái đất không đứng yên mà kéo chúng ta đi theo vòng quay hằng năm của nó xung quanh Mặt trời với tốc độ khoảng 30km/s, tức là bằng 0,01% vận tốc của ánh sáng. Vì có chuyển động đó mà vận tốc của ánh sáng do các nhà vật lý ở Trái đất đo được, về nguyên tắc, phải phụ thuộc vào hướng mà từ đó ánh sáng đi tới. Giả sử rằng ánh sáng tới theo hướng chuyển động của Trái đất. Do ánh sáng phải đuổi theo Trái đất, nên vận tốc biểu kiến của ánh

sáng phải nhỏ hơn vận tốc thực của nó. Ngược lại, nếu ánh sáng tới theo hướng ngược với chuyển động của Trái đất, thì do đi tới gặp Trái đất nên vận tốc biểu kiến của ánh sáng ắt phải lớn hơn vận tốc thực của nó. Hai nhà vật lý Mỹ Albert Michelson (1852-1931) và Edward Morley đã thử làm một thí nghiệm như vậy vào năm 1887. Kết quả thu được thật bất ngờ: cho dù ánh sáng tới theo hướng nào, thì vận tốc biểu kiến của nó cũng không thay đổi một chút nào. Nó vẫn ương bướng giữ nguyên giá trị bằng 300.000km/s. Như vậy là thí nghiệm nhằm khẳng định một kết quả mong đợi cuối cùng lại dẫn tới một kết luận hoàn toàn mâu thuẫn với kết quả đó.

Kết quả thí nghiệm của Michelson và Morley chỉ có thể hiểu được với giả thuyết rằng Trái đất đứng yên so với ête. Nhưng điều này rõ ràng là phi lý. Chúng ta đều biết Trái đất quay xung quanh Mặt trời và không có lý nào để nghĩ rằng ête, một chất được giả thuyết chiếm toàn bộ Vũ trụ, lại chuyển động y hệt như Trái đất, một hành tinh nhỏ bé chỉ như hạt cát mất hút trong bao la của Vũ trụ. Vậy là ý tưởng về một chất ête lấp đầy vũ trụ, đóng vai trò tựa như một sân khấu, nơi diễn ra mọi màn kịch của Vũ trụ, là không thể đứng vững. Lời giải cho cuộc khủng hoảng này thuộc về một viên chức không tên tuổi, làm việc tại Phòng cấp bằng sáng chế ở Berne, Thụy Sĩ, người đã dành những giờ rỗi rãi để suy ngẫm về những vấn đề nóng bỏng của vật lý. Người đó có tên là Albert Einstein (1879-1955). Và chẳng bao lâu sau, Einstein đã bước ra khỏi cảnh vô danh để trở thành một nhà phù thủy của vật lý hiện đại...

Tính tương đối của cặp thời gian - không gian

Mùa hè năm 1900, Albert Eisntein vừa tốt nghiệp khoa vật lý trường Bách khoa Zurich. Là sinh viên học lực trung bình, nên

đơn xin ở lại trường làm trợ giảng của ông đã bị từ chối. Hai năm tiếp sau là hai năm cùng quẫn, "mới ở ngưỡng cửa cuộc đời, mà (ông) đã cảm thấy mình như một người cùng khổ, sống tách biệt, chẳng được ai yêu mến và bị mọi người xa lánh". Để kiếm sống, ông phải nhận làm những công việc phụ đạo tạm thời tại những trường không mấy tiếng tăm ở Thụy Sĩ. Cuối cùng, vào năm 1902, nhờ sự can thiệp của cha một người bạn, ông đã kiếm được một chân "chuyên viên kỹ thuật bậc 3" tại Phòng cấp bằng sáng chế liên bang ở Berne. Việc làm đó đã đem lại cho ông một sự bảo đảm tương đối về vật chất, cho phép ông tính đến chuyện kết hôn với Mileva Malic, một bạn học thời sinh viên, đồng thời cũng đem lại cho ông sự thanh thản cần thiết để dấn thân vào những nghiên cứu vật lý mà ông vốn rất say mê. Năm 1905, ông đã cho công bố một bài báo tạo nên một cuộc cách mạng trong vật lý thế kỷ XX. Trong bài báo đó, bài báo đặt những nền tảng cho thuyết tương đối nổi tiếng của mình sau này, Einstein đã giải quyết được vấn đề về tính bất biến của tốc độ ánh sáng một cách hết sức độc đáo. Theo ông, Tự nhiên có thể rất tinh tế nhưng không "ma mãnh". Nó phải tuân thủ một nguyên lý đối xứng rất được Einstein coi trọng, đó là "nguyên lý tương đối": các định luật của vật lý phải như nhau ở mọi nơi trong Vũ trụ, bất kể vận tốc của người quan sát nghiên cứu những định luật đó là như thế nào. Đặc biệt, vận tốc của ánh sáng bao giờ cũng là như nhau. Song, để giữ cho vận tốc ánh sáng là không đổi, Einstein đã phải hy sinh hai khái niệm cực kỳ thiêng liêng của vật lý Newton: đó là tính phổ quát của thời gian và tính phổ quát của không gian.

Một trong những cảnh đẹp thần tiên nhất của các buổi tối ở Paris là những đường viền đăng ten bằng sắt được chiếu sáng của tháp Eiffel sừng sững vươn cao hình dáng thon thả của nó

trên thành phố sắp thiu ngủ. Mỗi ngày, theo một nghi thức bất di bất dịch, ánh sáng của ngọn tháp sẽ tắt vào đúng nửa đêm hệt như có một cây đũa thần chạm vào vậy. Một buổi tối, giữa lúc tòa tháp đang chìm vào màn đêm, có hai chiếc xe đi ngược chiều nhau, Paul ngồi trên chiếc Renault đang rời xa dần quảng trường Trocadero, trong khi Arian ngồi trên chiếc Peugeot lại đang tiến gần đến quảng trường đó. Cả hai đều nhìn thấy ánh đèn trên tháp Eiffel tắt. Họ đều bất giác liếc nhìn đồng hồ. Đúng nửa đêm. Thực ra, là một phần giây sau đó, bởi vì ánh sáng tắt từ tháp Eiffel phải mất một thời gian mới đi đến được võng mạc của mắt hai người. Nếu biết khoảng cách từ xe của hai người đến tháp và thời gian để thông tin liên quan đến sự tắt đèn trên tháp đến được mắt hai người, thì hai nhà vật lý nghiệp dư của chúng ta ngồi trên xe có thể tính được vận tốc mà thông tin đến với họ. Đơn giản chỉ cần chia khoảng cách cho thời gian sau nửa đêm. Đối với Arian, người đi theo hướng tiến đến gần tháp, thời gian hơi ngắn hơn một chút và do đó vận tốc của ánh sáng cũng lớn hơn một chút (bởi vì nó là tổng của vận tốc ánh sáng cộng với vận tốc của chiếc xe Peugeot). Đối với Paul, người đi xa dần tháp, thì tình hình ngược lại. Ánh sáng phải đuổi theo anh ta. Vì thế thời gian để nhìn thấy đèn tắt hơi dài hơn một chút và do đó tốc độ biểu kiến của ánh sáng hơi nhỏ hơn một chút, vì ở đây vận tốc ánh sáng phải trừ đi vận tốc của chiếc xe Renault. Nhìn bề ngoài, ở đây chẳng thấy có gì là lạ. Tất cả dường như đều "ổn cả".

Chỉ có điều, như chúng ta đã thấy, có một cú "hích", thậm chí rất quan trọng. Thí nghiệm của Michelson và Morley chỉ ra rằng cả Paul và Arian phải đo được chính xác cùng một vận tốc ánh sáng, bất kể vận tốc và hướng đi của họ như thế nào. Đứng trước tình huống này, Einstein đã đưa ra một giải pháp có tính cách mạng.

Bởi vì vận tốc là khoảng cách đi được trong một đơn vị thời gian, nên nó chỉ có thể là không đổi và độc lập với chuyển động của người quan sát, khi mà các khoảng cách và các khoảng thời gian cùng biến đổi theo chuyển động của người quan sát ấy, sao cho vẫn giữ nguyên được tỷ số của chúng. Với giải pháp đó, Einstein đã quét sạch các khái niệm thời gian và không gian phổ quát vốn là nền tảng của lý thuyết Newton. Thời gian và không gian bỗng trở nên có thể co giãn và mềm dẻo. Thời gian sẽ kéo dài ra nếu bạn nhấn ga để cho xe đạt được vận tốc lớn hơn. Thời gian của bạn và thời gian của tôi có thể hơi khác nhau. Nhưng cả hai đều hợp thức. Không có một thời gian nào là đúng hơn hay tốt hơn một thời gian khác. Sự sụp đổ của thời gian phổ quát kéo theo sự sụp đổ của không gian phổ quát, và điều này cũng làm mất đi tính tuyệt đối của nó. Không gian có thể co lại theo ý muốn tùy thuộc vào chuyển động của một vật. Do đó, cả khái niệm ête, chất được xem là mốc không gian tuyệt đối, cũng đã bị quét đi theo.

Thời gian được kéo dài ra

Trong bài báo viết năm 1905 của mình, Einstein đã cho chúng ta biết một cách chính xác thời gian được giãn nở và trôi chậm lại như thế nào đối với một người hoặc một vật đang chuyển động. Sự chậm lại càng nhiều thì vận tốc càng lớn. Một giây có vẻ như sẽ là vĩnh cửu nếu vật thể di chuyển đủ nhanh. Nếu bạn di chuyển bằng một nửa vận tốc ánh sáng thì một giây sẽ dài thêm 15% so với một giây của người đứng yên. Nếu bạn tăng tốc đến 99,99% vận tốc ánh sáng thì một giây sẽ trở thành 1,18 phút. Nếu vận tốc tăng đến 99,9999999% vận tốc ánh sáng, thì một giây sẽ thành 6,2 giờ. Thời gian cứ kéo dài mãi chừng nào bạn tiến gần đến vận tốc ánh sáng.

Bạn có thể cho rằng đó là điều trái với lẽ thông thường và do đó bạn không sao hiểu được. Song, lẽ thông thường là kẻ dẫn dắt tồi nếu nói đến vận tốc cực lớn. Và chẳng có gì để hiểu hay không hiểu: Tự nhiên vốn là như vậy.

Sự giãn nở của thời gian đã nhiều lần được kiểm chứng, ví như trong hành trạng của "các tia vũ trụ". Hãy đặt một máy đếm Geiger bên cạnh bạn; nó không ngừng kêu lách tách. Nguyên nhân của những tiếng kêu đó là các tia vũ trụ. Đây là dòng của các hạt năng lượng cao đến từ không gian và liên tục bắn phá Trái đất chúng ta. Người ta cho rằng các hạt này đến từ các ngôi sao nặng (nặng gấp 30 lần Mặt trời) trong dải Ngân Hà và vào lúc các ngôi sao này bùng nổ trong cơn hấp hối (được gọi là sao siêu mới), chúng đã phóng ra các hạt với vận tốc rất lớn vào không gian. Các tia vũ trụ đã phải đi qua một chặng đường rất dài giữa các vì sao, cho đến một ngày nào đó chúng đến Trái đất chúng ta. Nếu không có cái lá chắn là bầu khí quyển che chở thì các tia rất độc hại này sẽ làm cho không một dạng sự sống nào có thể tồn tại trên Trái đất. Tuy nhiên, vẫn có một số hạt đi qua được bầu khí quyển một cách nguyên vẹn. Chúng đóng một vai trò quyết định trong quá trình tiến hóa sinh học trên Trái đất bằng cách tạo ra những đột biến di truyền trong các tế bào sống.

Một số hạt trong số đó có năng lượng cực lớn, chúng va đập với hạt nhân của các nguyên tử trên tầng cao của khí quyển Trái đất và làm cho các hạt nhân này vỡ tan thành nhiều mảnh, tạo ra một trận mưa các mảnh vỡ nội nguyên tử rơi xuống Trái đất. Đa số các mảnh vỡ này có thời gian sống cực ngắn, chúng nhanh chóng bị phân rã trước khi tới hành tinh của chúng ta. Tuy nhiên, những hạt có tên là "muon" lại sống sót tương đối lâu, nên chúng đến được Trái đất và làm cho các máy đếm Geiger kêu lách tách. Các hạt "muon" này

rất giống các electron nhưng nặng hơn. Chúng tương tác rất ít với các vật chất thông thường và số đông đi sâu vào trong lòng vỏ Trái đất. Tuy nhiên, có một vấn đề được đặt ra. "Muon" vốn nổi tiếng là một hạt không bền, nó chỉ sống trong chớp mắt rồi nhanh chóng phân rã. Chu kỳ bán rã của nó chỉ bằng 2 phần triệu giây, điều này có nghĩa là: nếu số lượng ban đầu của các hạt này là 10.000 thì chỉ sau 2 micro giây, chúng chỉ còn lại 5000, sau 2 micro giây nữa chỉ còn 2500, 2 micro giây tiếp theo nữa chỉ còn 1250 và cứ tiếp tục như thế. Số lượng hạt muon giảm rất nhanh cho đến khi bằng 0, trong một thời gian chẳng đáng là bao. Mà trong 2 micro giây, ngay cả ánh sáng cũng chỉ đi được quãng đường có 600 mét. Do đó các muon với vận tốc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng chỉ có thể vượt qua một khoảng cách còn ngắn hơn nữa. Vậy thì làm sao chúng có thể tồn tại đủ lâu để vượt qua bề dày của bầu khí quyển (20km) để cuối cùng đến được Trái đất chúng ta?

Einstein đã giải thích được điều đó. Bởi vì các muon chuyển động với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng, nên thời gian sống của nó được đo bằng đồng hồ trên Trái đất giãn nở gấp 1000 lần. Chu kỳ bán rã của chúng bằng 2 micro giây, sẽ giãn nở thành 2 phần nghìn giây. Điều này cho phép các muon có đủ tuổi thọ để đến được Trái đất và làm cho máy đếm Geiger ở đó kêu lách tách. Muon không phải là những hạt duy nhất nhìn thấy tuổi thọ của mình được kéo dài ra. Các hạt cơ bản được máy gia tốc phóng ra hết tốc lực cũng thấy tuổi thọ được kéo dài ra như vậy. Nếu tăng vận tốc của chúng lên tới 99,7% vận tốc ánh sáng, thời gian sống của các hạt này sẽ tăng lên khoảng 13 lần. Tăng tốc lên tới 99,9% vận tốc ánh sáng, chúng sẽ sống lâu thêm 45 lần. Sự giãn nở của thời gian diễn ra trong tất cả mọi trường hợp đúng như Einstein đã tiên đoán.

Chắc bạn vẫn còn hoài nghi và phản bác rằng tất cả những điều nói trên còn quá trừu tượng. Mặc kệ các nhà vật lý tha hồ nói về sự giãn nở của thời gian đối với các hạt không nhìn thấy và không thể trực tiếp nhận biết được bằng giác quan của chúng ta. Còn bạn, bạn chỉ có thể tin, nếu bạn nhìn thấy thời gian của các vật cụ thể hơn, ví dụ như thời gian của chiếc đồng hồ được kéo dài ra khi nó chuyển động. Bạn không biết rằng điều bạn vừa nói hoàn toàn đã xảy ra trên thực tế, bởi vì thí nghiệm chính xác đó đã được hai nhà vật lý Mỹ thực hiện vào năm 1971. Họ đã đem các đồng hồ nguyên tử chỉ thời gian với một độ chính xác cực kỳ cao lên thí nghiệm trên hai máy bay phản lực chở khách.

Cho đến tận gần đây, trong thế giới bị ám ảnh bởi thời gian của chúng ta, giây còn được định nghĩa qua thời gian quay của Trái đất quanh mình nó. Nhưng giây được tính như thế sẽ không đủ ổn định. Trái đất, như chúng ta đã biết, mỗi ngày quay một chậm hơn do các lực thủy triều mà Mặt trăng tác dụng lên nó. Những tính toán chứng tỏ rằng khi Trái đất mới ra đời, cách đây 4,6 tỷ năm, nó quay 4 lần nhanh hơn so với hiện nay. Ngày chỉ dài có 6 giờ và Mặt trời chỉ vội vã đi qua bầu trời trong 3 giờ. Dĩ nhiên, sự quay chậm lại của Trái đất khó có thể nhận biết được trong một đời người, nhưng nó lại đủ lớn để tác động đến những chiếc đồng hồ chính xác nhất. Chính vì thế mà đồng hồ nguyên tử đã được phát minh ra. Giây ngày nay được định nghĩa thông qua các dao động của nguyên tử xêsi (*cesium*). Trong một giây, nguyên tử cesi dao động 9.192.631.770 lần. Thời gian nguyên tử này do Cơ quan đo lường quốc tế đặt tại Sèvres, ngoại ô Paris, ban hành. Và tất cả các đồng hồ trên toàn thế giới đều phải điều chỉnh theo thời gian đó.

Trong thí nghiệm được thực hiện trên các máy bay phản lực chở khách, 4 đồng hồ nguyên tử được chở về phía Đông và 4 đồng

hồ khác về phía Tây. Lúc kết thúc chuyến bay, thời gian chỉ trên các đồng hồ này được so với thời gian chỉ của các đồng hồ ở mặt đất. Và người ta quả thật đã nhận thấy có sự khác biệt về thời gian đúng với các tỷ lệ mà Einstein đã dự báo. Bởi vì các máy bay trên các tuyến thường bay với vận tốc nhỏ hơn một phần triệu vận tốc ánh sáng, nên sự khác biệt đó là cực kỳ nhỏ, chỉ vào khoảng một phần triệu giây trong một ngày bay. Tuy nhiên, các đồng hồ nguyên tử có thể phát hiện được sự khác biệt rất nhỏ ấy và đó chính là ích lợi của loại đồng hồ này. Các đồng hồ bay về hướng Đông đã chậm mất 59 phần tỷ giây, trong khi các đồng hồ bay về hướng Tây lại nhanh hơn 273 phần tỷ giây. Sự khác biệt về con số giữa hai nhóm đồng hồ này là do Trái đất quay từ Tây sang Đông, vì sự quay đó cũng tạo ra một sự giãn nở về thời gian. Song, khi tính đến hiệu ứng này, người ta nhận thấy rằng thời gian của các đồng hồ bay đã chậm lại đúng với tỷ lệ như Einstein đã dự báo.

Trong cuộc sống hàng ngày, chúng ta thường di chuyển với vận tốc còn nhỏ hơn nhiều so với vận tốc của các máy bay chở khách. Cho dù chúng ta phóng xe nhanh tới tốc độ 200km/h trên xa lộ thì tốc độ đó cũng chỉ bằng 2 phần mười triệu vận tốc ánh sáng. Ngay cả với tốc độ 300km/h của xe lửa cao tốc (TGV) đi nữa, thời gian của hành khách cũng chỉ chậm ít hơn một phần triệu giây. Sự khác biệt rất nhỏ bé này của thời gian có thể phát hiện được nhờ các đồng hồ nguyên tử, nhưng lại không thể nhận biết bởi các đồng hồ bình thường. Nhưng điều đó thật là may mắn đối với sức khỏe tinh thần của chúng ta. Bởi vì nếu thời gian thay đổi một cách dễ nhận thấy tùy theo sự chuyển động của mỗi người, thì sẽ có không biết bao nhiêu những cuộc hẹn hò bị dở dang, những cơ may bị tuột khỏi tay!

Nhanh hơn ánh sáng?

Tính bất biến của vận tốc ánh sáng dẫn đến một hệ quả quan trọng: không một vật thể vật chất nào có thể vượt qua được bức tường do vận tốc đó dựng lên. Thực vậy, nếu một vật thể có thể tăng tốc từ một vận tốc lờ đờ chậm chạp, rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng, đến một vận tốc điên cuồng, cao hơn vận tốc ánh sáng, thì vật thể đó có thể đuổi kịp tia sáng đi trước nó, rồi vượt qua và bỏ lại tia sáng đó rất xa ở phía sau. Vận tốc biểu kiến của ánh sáng được quan sát bởi một người nào đó chuyển động cùng với vật thể ấy, ban đầu giảm dần, rồi bị triệt tiêu, sau đó sẽ tăng dần theo hướng khác. Điều này vi phạm một cách hiển nhiên kết quả thực nghiệm nói rằng: người quan sát phải luôn luôn đo được cùng một giá trị của vận tốc ánh sáng. Như vậy, thuyết tương đối nghiêm cấm việc vượt qua bức tường vận tốc ánh sáng, từ vận tốc nhỏ hơn 300.000km/s đến một vận tốc cao hơn. Nói một cách chính xác hơn, thuyết tương đối không cấm, như mọi người vẫn thường nói một cách sai lầm, sự tồn tại của các hạt hay vật đi nhanh hơn ánh sáng. Cái mà nó cấm là sự *vượt qua* bức tường vận tốc ánh sáng. Sự cấm đoán này có giá trị theo cả hai hướng: hoặc theo hướng từ vận tốc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng tới vận tốc cao hơn vận tốc đó, hoặc theo hướng ngược lại, từ vận tốc cao hơn vận tốc ánh sáng tới vận tốc nhỏ hơn vận tốc đó. Các nhà vật lý cũng đã phát minh ra một cái tên để chỉ các hạt đi nhanh hơn ánh sáng. Họ gọi chúng là "tachyon", theo tiếng Latin có nghĩa là "sự chạy nhanh".

Tuy nhiên, cho đến nay các tachyon mới chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng đầy phóng túng của các nhà nghiên cứu. Điều này quả là may mắn, bởi vì sự tồn tại của các tachyon này (nếu có) sẽ gây ra khá nhiều nghịch lý trong vật lý. Thực vậy, đi nhanh hơn ánh sáng có thể sẽ dẫn chúng ta trở về quá khứ; mà điều này sẽ dẫn tới sự vi

phạm nguyên lý nhân quả. Chúng ta đã quen với ý nghĩ rằng nhân phải có trước quả, hành động phải đi trước kết quả của nó. Một quả trứng vỡ vì ta đập vào cái vỏ của nó. Một chiếc lá rụng bởi vì đã có một trận gió thổi qua, một chiếc đinh cắm sâu vào gỗ bởi vì ta dùng búa đập mạnh xuống chiếc đinh đó. Cái bia vỡ tan thành nhiều mảnh vì chúng ta bắn vào nó. Tôi được sinh ra, bởi vì bà tôi đã sinh ra bố tôi, rồi đến lượt mình, bố tôi... Nếu thuyết tương đối đã vứt bỏ thời gian tuyệt đối để cho mỗi người có một thời gian riêng thì một vấn đề tất yếu sẽ được đặt ra: liệu thuyết ấy có sắp xếp lại trật tự của các sự kiện, tức là làm cho "quả" biến thành cái có trước "nhân", cái đinh cắm sâu vào gỗ trước khi búa giáng xuống nó, hoặc tôi sinh ra trước bà nội tôi hay không? Thật may thay cho sự cân bằng tâm lý của chúng ta, thuyết tương đối không hề làm thay đổi trật tự của các sự kiện khi chúng có liên quan với các vật thể đi chậm hơn ánh sáng. Trong thế giới của chúng ta, bia chỉ vỡ tan sau khi viên đạn từ súng được bắn ra chứ không bao giờ vỡ trước đó được. Đúng là thời gian của thuyết tương đối là có thể co giãn và khoảng cách thời gian giữa hai thời điểm, khi viên đạn bắn ra và khi nó đụng vào bia, sẽ dài ngắn khác nhau tùy theo vận tốc của người quan sát và cường độ của trường hấp dẫn ở đó (như chúng ta sẽ thấy dưới đây). Song, nhân bao giờ cũng đi trước quả.

Quan hệ nhân quả bị đảo lộn

Tuy nhiên, đối với những sự kiện có liên quan với các tachyon chuyển động nhanh hơn ánh sáng, thì trật tự đó sẽ không còn được tuân thủ nữa. Chúng ta hãy xét xem tại sao lại như vậy.

Hãy tưởng tượng một khẩu súng cố định, thay vì bắn bằng các viên đạn thông thường, nó lại bắn bằng các tachyon chuyển động

nhanh gấp đôi ánh sáng. Chúng ta cũng tưởng tượng một anh chàng tên là Jules ở trên một con tàu vũ trụ chuyển động hết tốc lực theo hướng truyền của các tachyon. Được cấu tạo bởi vật chất thông thường, Jules phải đi chậm hơn ánh sáng, giả dụ như bằng 80% vận tốc của nó. Trong những điều kiện như thế, Jules sẽ thấy cái bia vỡ tan trước khi các viên đạn tachyon rời khỏi nòng súng. Như vậy, quan hệ nhân quả sẽ bị đảo ngược. Anh ta sẽ thấy các tachyon bắn ra từ cái bia vỡ để trở lại nòng súng, giống như người ta quay ngược một đoạn phim vậy.

Nhưng sự giống nhau đó không phải là hoàn toàn chính xác. Trong phim, các sự kiện diễn ra ngược lại vì bạn đã đảo ngược hướng chuyển động của ống lõi cuốn phim, nói cách khác là bạn đã đảo ngược chiều của thời gian. Không có gì giống như thế trong trường hợp khẩu súng bắn đạn tachyon. Thời gian ở đây vẫn luôn luôn trôi theo cùng một chiều. Nó vẫn trôi về phía trước. Quá khứ mờ dần để nhường chỗ cho hiện tại, trong khi đó thì tương lai vẫn còn ở phía trước. Nếu hậu quả đến trước nguyên nhân trong trường hợp khẩu súng bắn tachyon, thì đó là bởi vì các hạt tachyon đi nhanh hơn ánh sáng. Thực vậy, Jules sẽ thấy các viên đạn tachyon xé không khí bay đi với vận tốc hai lần nhanh hơn ánh sáng và đi từ bia đến súng chừng nào mà bản thân anh ta còn dịch chuyển nhanh hơn một nửa vận tốc của ánh sáng. Khoảng thời gian giữa thời điểm cái bia vỡ tan và thời điểm các viên đạn tachyon quay trở lại nòng súng sẽ càng giảm khi vận tốc của Jules càng tiến gần đến một nửa vận tốc của ánh sáng. Đúng vào lúc đạt tới 50% vận tốc ánh sáng thì Jules sẽ nhìn thấy các tachyon hầu như tức thì đi từ bia tới súng giống như chúng có một vận tốc vô hạn vậy. Chỉ khi nào chuyển động với vận tốc nhỏ hơn một nửa vận tốc ánh sáng thì anh ta mới thấy quan hệ nhân quả được khôi

phục trở lại. Trật tự của các sự kiện khi đó mới trở lại bình thường và cái bia sẽ vỡ ra từng mảnh sau khi các viên đạn tachyon được bắn ra từ nòng súng.

Liên thông với quá khứ

Một thế giới chứa đựng những tachyon là một thế giới trong đó cái lôgic mà chúng ta đã biết sẽ không còn ý nghĩa nữa. Tính nhân quả bị đảo lộn và mối quan hệ của nhân với quả cũng bị lộn nhào. Được cấu tạo bởi vật chất thông thường, chúng ta không thể đi ngược về quá khứ cho dù là ở thế giới của các tachyon. Máy đi ngược dòng thời gian do H.G. Wells (1866-1946) tưởng tượng ra chỉ tồn tại trong các tiểu thuyết khoa học viễn tưởng. Tuy nhiên, nếu các chuyến du hành ngược về lại quá khứ là bất khả thi, thì trên nguyên tắc chúng ta có thể sử dụng các tachyon để gửi các tín hiệu đến quá khứ. Hãy thử xét một ví dụ dưới đây[1]:

Nhà thám hiểm Jules bay trên con tàu vũ trụ với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng, trong khi bạn của anh ta, Jim, người an phận, sống những ngày bình thản trên Trái đất. Trước khi chia tay, hai người bạn đã so lại đồng hồ để chỉnh lại giờ cho khớp nhau. Họ hứa sẽ giữ liên lạc với nhau bằng cách gửi các thông báo nhờ máy phát tachyon. Máy này có thể phát tín hiệu với vận tốc nhanh gấp 4 lần vận tốc ánh sáng. Giả sử rằng Jules rời Trái đất vào 10 giờ sáng. Đến giữa trưa, theo giờ Trái đất, Jim dùng máy phát để gửi một bức điện cho Jules. Vào lúc đó, Jules đã bay được hai giờ với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng; và như vậy anh ta đã đi được

1. Ví dụ này dựa theo ví dụ được trình bày trong cuốn *Bàn về thời gian* (About Time) của Paul Davis, NXB Simon and Schuster, New York, 1995

một đoạn đường dài 2 x 0,8 = 1,6 giờ-ánh sáng (một giờ-ánh sáng là quãng đường ánh sáng đi được trong một giờ và bằng 1,08 tỷ km). Bức điện do tachyon chuyển đi với vận tốc gấp 4 lần vận tốc ánh sáng, nên phải mất 0,4 giờ (tức 24 phút) để vượt qua khoảng cách đó. Nhưng trong 0,4 giờ đó, con tàu vũ trụ vẫn tiếp tục bay và đi thêm được 0,4 x 0,8 = 0,32 giờ-ánh sáng. Do vậy bức điện phải mất thêm một khoảng thời gian bằng 0,08 giờ. Nhưng trong 0,08 giờ phụ thêm đó, con tàu vẫn tiếp tục bay và đi thêm được một đoạn đường nữa bằng 0,08 x 0,8 giờ-ánh sáng, và do đó bức thông điệp phải mất thêm một thời gian bằng 0,016 giờ để đuổi kịp con tàu. Và cứ tiếp tục như thế... Ta sẽ nhận được cả một chuỗi vô hạn những khoảng thời gian phụ thêm và giảm dần. Rốt cuộc, Jules chỉ nhận được bức điện của bạn vào 12 giờ 30 phút trưa, giờ Trái đất. Song giờ chỉ trên đồng hồ của Jules lại hoàn toàn khác. Do bay với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng, thời gian của anh ta trôi chậm hơn thời gian của Jim. Cứ mỗi giờ trên Trái đất, đồng hồ của Jules chỉ nhích lên được 0,6 x 1 giờ, tức 36 phút.

Sự chậm lại này của thời gian có thể tính được không mấy khó khăn: hãy chia vận tốc con tàu vũ trụ của Jules cho vận tốc ánh sáng, ta được 0,8. Lấy bình phương của con số ấy (0,64), rồi lấy1 trừ đi nó, bạn nhận được con số 0,36. Sau đó lấy căn của con số này, ta được 0,6 hoặc 60%. Cuộc bay trong 2,5 giờ theo đồng hồ mặt đất, đối với Jules chỉ kéo dài 1,5 giờ (2,5 x 0,6 = 1,5). Nghĩa là đồng hồ của anh ta chỉ 11h30 khi nhận được bức điện của Jim. Do vậy, Jules sẽ nghĩ rằng khoảng cách vào lúc đó giữa anh ta với Trái đất chỉ là 1,5 x 0,8 = 1,2 giờ-ánh sáng.

Vốn là một người chu đáo, Jules nhanh chóng trả lời bức điện của bạn mình. Máy phát tachyon của anh ta cũng gửi những bức điện với vận tốc gấp 4 lần vận tốc ánh sáng. Đối với Jules, tình hình

lúc này là hoàn toàn ngược lại. Bức điện của anh ta phải đuổi theo Trái đất đang lùi xa dần với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng. Để đi hết quãng đường 1,2 giờ-ánh sáng đó, bức điện tachyon phải đi mất 0,3 giờ. Nhưng trong lúc đó, Trái đất vẫn tiếp tục đi xa dần, nên cần phải mất thêm thời gian nữa bức điện mới đuổi kịp nó. Theo tính toán của Jules, thì cuối cùng phải mất ⅜ giờ hay 22,5 phút thì Jim mới nhận được bức điện trả lời. Vào lúc đó, đồng hồ của Jules chỉ 11giờ 30 + 22,5 phút tức 1 giờ 52,5 phút kể từ khi anh ta rời Trái đất ra đi. Theo quan điểm của Jules, thì do Jim được Trái đất mang theo với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng, nên thời gian của Jim chậm lại một hệ số bằng 60%. Nghĩa là theo đồng hồ mặt đất của Jim, bức điện trả lời chỉ mất 1 giờ 52,5 x 0,6 = 1 giờ 7,5 phút là đến tay anh ta, tức đồng hồ chỉ 11 giờ 7,5 phút. Biết rằng Jim đã gửi bức điện vào đúng giữa trưa, điều này có nghĩa là anh ta đã nhận được điện trả lời 52,5 phút trước khi anh ta đánh bức điện cho bạn. Đây là một sự vi phạm hiển nhiên quan hệ nhân quả. Như vậy, nhờ có máy phát tachyon, Jules đã có thể gửi tín hiệu đến quá khứ của Jim.

Với ví dụ rất cụ thể trên, tôi hy vọng đã thuyết phục được bạn tin rằng một thế giới chấp nhận các vật thể hoặc các hạt đi nhanh hơn ánh sáng sẽ làm sai lệch lôgic và quan hệ nhân quả mà chúng ta đã biết. Einstein ý thức rất rõ điều ấy. Ông đã tuyên bố dứt khoát trong bài báo viết năm 1905 rằng các vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng là không được phép. Chính bức tường vận tốc ánh sáng đã ngăn cản việc làm xáo trộn các khái niệm tương lai và quá khứ, và cho phép giữ được sự cân bằng tinh thần của chúng ta. Điều đó nói lên rằng không có một điều khoản toán học nào của thuyết tương đối hẹp được mô tả trong bài báo viết năm 1905, cấm đoán một cách tường minh sự tồn tại của các tachyon. Các nhà vật lý rất muốn phát hiện ra một điều khoản như thế, nhưng cho đến nay,

vẫn chưa thể nắm bắt được. Dù sao đi nữa, vật lý, lôgic và quan hệ nhân quả sẽ phải chịu những cú sốc nặng nề, nếu một ngày nào đó con người khám phá ra các tachyon.

Bí mật của tuổi thanh xuân vĩnh cửu

Có một vấn đề được đặt ra. Einstein đã cho chúng ta biết rằng chuyển động làm cho thời gian chậm lại. Như vậy, phải chăng ông đã khám phá ra phương thuốc trường sinh bất lão, điều bí mật của tuổi thanh xuân vĩnh cửu? Phải chăng để trẻ mãi thì chỉ cần đi nhanh là đủ? Xin bạn chớ vội lạc quan.

Trước hết, cần phải tiến rất gần đến vận tốc ánh sáng thì sự giãn nở của thời gian mới có thể nhận biết được. Nếu Jules bay với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng, thì anh ta chỉ già đi 60 tuổi so với 100 tuổi của Jim. Với 86% vận tốc ánh sáng, Jules chỉ còn già đi 50 tuổi. Với 99,5% vận tốc ánh sáng, anh ta chỉ già đi chưa đầy 10 tuổi. Jules càng tiến gần đến vận tốc ánh sáng, thì anh càng ít già đi so với Jim. Song vận tốc ánh sáng có giá cao đến chóng mặt, vì con tàu vũ trụ của Jules càng đi nhanh thì khối lượng của nó càng lớn. Thực tế, khối lượng tăng với cùng một hệ số như sự chậm lại của thời gian: ở vận tốc bằng 99,5% vận tốc ánh sáng, Jules già đi ít hơn 10 lần so với Jim, song khối lượng của tên lửa cũng tăng lên 10 lần. Và tên lửa càng tăng khối lượng thì Jules càng cần nhiều nhiên liệu hơn để đẩy tên lửa đi. Điều này làm cho khối lượng của con tàu vũ trụ còn tăng hơn nữa và như vậy khối lượng chất đốt cần thiết cũng phải tăng lên nữa. Cái vòng luẩn quẩn này không bao giờ chấm dứt được. Để đạt tới vận tốc ánh sáng, Jules cần có một khối lượng chất đốt lớn vô hạn. Điều này chỉ có thể tồn tại trong các tiểu thuyết khoa học viễn tưởng mà thôi.

Song, cho dù vấn đề chất đốt có được giải quyết đi nữa, Jules cũng không thể làm chậm tuổi già so với thời gian riêng của mình, mà chỉ có thể so với thời gian của một người khác. Trong trường hợp ta đang xét là thời gian của Jim. Thực vậy, chừng nào mà Jules chuyển động với vận tốc không đổi, tức là không tăng cũng không giảm, thì tình hình sẽ hoàn toàn đối xứng giữa Jules và Jim. Trên con tàu của mình, Jules nghĩ rằng do Jim đang được Trái đất mang theo với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng, nên thời gian của anh ta bị chậm lại 60% và mình, tức là Jules, chỉ già đi một cách bình thường. Trái lại, trên mặt đất, Jim lại cho rằng do Jules đang bay trên con tàu vũ trụ với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng, nên thời gian của anh ta bị chậm lại 60% so với thời gian Trái đất. Làm sao mà thời gian của Jules lại vừa có thể trôi nhanh hơn lại vừa có thể trôi chậm hơn thời gian của Jim được? Liệu ở đây có nghịch lý gì chăng? Hay thuyết tương đối hẹp đã đi sai đường?

Câu trả lời dứt khoát là không. Chừng nào mà Jules và Jim còn cách xa nhau, thì tình hình còn hoàn toàn đối xứng và người này nghĩ rằng thời gian của người kia là chậm hơn so với thời gian của mình. Họ có thể yên tâm khi nhìn các hình ảnh quay được bằng các camera truyền hình, một máy quay đồng hồ của Jim trong phòng khách của anh ta trên Trái đất và máy kia quay đồng hồ của Jules trên con tàu vũ trụ. Những hình ảnh này được truyền đi bởi các sóng vô tuyến với vận tốc bằng vận tốc ánh sáng. Trước hết, chúng ta hãy xem xét trường hợp của Jules. Bởi vì Jim cùng với Trái đất chuyển động xa dần Jules với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng, nên anh ta nhìn thấy đồng hồ của Jim chỉ nhích được 36 phút ứng với mỗi giờ trôi qua trên con tàu của mình. Thực tế Jules thấy đồng hồ của Jim còn chạy chậm hơn nữa, bởi vì ngoài sự chậm lại theo tiên đoán của thuyết tương đối, những hình ảnh

về đồng hồ của Jim được truyền đi bởi các sóng vô tuyến cũng còn phải mất một khoảng thời gian để đi từ Trái đất đến con tàu của Jules. Điều này gây ra thêm một khoảng trễ nữa. Hiệu ứng phụ thêm này được gọi là "hiệu ứng Doppler", theo tên của nhà vật lý Áo, người đã khám phá ra một hiện tượng giống như thế đối với một nguồn âm thanh chuyển động so với người quan sát[1].

Bây giờ chúng ta hãy xem xét trường hợp của Jim. Nó cũng hoàn toàn là đối xứng. Jim nhìn thấy Jules rời xa Trái đất với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng và anh ta nhận thấy đồng hồ của Jules chạy chậm hơn đồng hồ của mình. Sự chạy chậm này vừa do hiệu ứng của thuyết tương đối vừa do hiệu ứng Doppler, giống hệt sự chạy chậm mà Jules quan sát thấy đối với đồng hồ của Jim.

Jules đi tới đích, đó là một hành tinh quay quanh một vì sao ở đâu đó trong dải Ngân Hà. Sau khi đã làm xong công việc trên hành tinh xa xôi này, Jules quay trở về Trái đất. Lúc này tình hình đảo ngược hẳn lại. Những hình ảnh phòng khách của Jim được chuyển tải bằng sóng vô tuyến phát đi từ Trái đất, đi về phía tên lửa đang tiến lại gần, và hiệu ứng Doppler làm cho đồng hồ của Jim dường như chạy nhanh hơn đồng hồ của Jules. Tất nhiên, sự chậm lại của thời gian được dự kiến bởi thuyết tương đối vẫn đóng vai trò của nó, song hiệu ứng này không lớn bằng hiệu ứng Doppler và kết quả là Jules quan sát thấy đồng hồ của Jim chạy nhanh hơn so với đồng hồ của mình. Còn Jim, anh ta thấy gì? Một lần nữa tình hình vẫn hoàn toàn đối xứng. Jim nhận được những hình ảnh chuyển tải bằng sóng vô tuyến đến gặp Trái đất. Một lần nữa hiệu

1. Chỉ có điều là, thay vì thời gian thay đổi, ở đây tần số âm thanh thay đổi. Hiệu ứng Doppler cho thấy tiếng còi của một xe cứu thương thanh hơn khi nó tiến đến gần và trầm hơn khi nó đi xa.

ứng Doppler lại lớn hơn hiệu ứng của thuyết tương đối. Và Jim thấy đồng hồ của Jules chạy nhanh hơn đồng hồ của mình, cũng giống như Jules nghĩ rằng đồng hồ của Jim chạy nhanh hơn đồng hồ của anh ta, với cùng một số phút như nhau.

Đối xứng bị phá vỡ

Tình hình vẫn còn là hoàn toàn đối xứng chừng nào mà Jules và Jim chưa gặp lại nhau. Song, điều gì sẽ xảy ra khi Jules trở về Trái đất và có thể trực tiếp so sánh đồng hồ của anh ta với đồng hồ của Jim mà không cần phải thông qua trung gian là hình ảnh chuyển tải bằng các sóng vô tuyến? Chắc chắn, vào lúc đó tình hình sẽ không còn đối xứng nữa. Đồng hồ của Jim sẽ nhanh hơn hoặc sẽ chậm hơn so với đồng hồ của Jules, chứ nó không thể vừa nhanh vừa chậm hơn được. Einstein đã tới và tuyên bố dứt khoát: thời gian của Jules, nhà du hành, trôi chậm hơn so với thời gian của Jim, người tĩnh tại trên Trái đất. Nếu Jules giữ được vận tốc luôn bằng 80% vận tốc ánh sáng trong cả hai lượt đi và về, thì thời gian trôi đối với anh ta chỉ bằng 60% thời gian của Jim. Cuộc du hành giữa các vì sao của Jules đã kéo dài 20 năm theo lịch Trái đất. Xuất phát từ năm 2000, anh ta đã trở lại Trái đất vào năm 2020. Trái lại, với Jules cuộc du hành chỉ kéo dài 20 năm x 0,6 = 12 năm. Lịch công tác của con tàu vũ trụ vào ngày anh ta trở về ghi năm 2012. Sự chênh lệch đó là hiện thực. Nhịp tim của Jules đập chậm hơn nhịp tim của Jim, phổi của anh ta hấp thụ ít không khí hơn, tóc của anh ta bạc đi ít hơn, da cũng ít vết nhăn hơn. Jules chải răng cũng ít lần hơn và số các bữa ăn cũng ít hơn.

Nghĩa là đối xứng đã bị phá vỡ. Nhưng vì sao? Bởi vì để hoàn thành cuộc du hành cả đi lẫn về, Jules đã phải thay đổi vận tốc, tức

là khi thì tăng tốc, khi thì giảm tốc. Trước hết, phải tăng ở lượt đi để vượt qua sức hút của Trái đất và để đạt tới vận tốc bay bằng 80% vận tốc ánh sáng, sau đó phải giảm đến mức vận tốc bằng không để hạ cánh xuống hành tinh xa xôi kia. Sau đó vận tốc lại phải tăng một lần nữa để quay trở lại Trái đất và giảm một lần nữa để hạ cánh. Các lần tăng và giảm vận tốc này đều có những hiệu ứng rất thực. Các nhà du hành vũ trụ cảm thấy rất rõ khi con tàu vũ trụ tăng tốc. Họ như bị đóng đinh vào lưng ghế đúng lúc con tàu cất cánh. Chúng ta cũng có thể cảm nhận được trạng thái này khi chiếc xe hơi của chúng ta đột ngột vọt lên hoặc khi một thang máy đưa ta lên các tầng cao với tốc độ quá nhanh. Tình thế giữa Jim và Jules là đối xứng, chừng nào vận tốc của Jules là không đổi. Trong những điều kiện đó, nếu nói rằng tên lửa của Jules rời xa Trái đất đang đứng yên, hoặc nói Trái đất rời xa tên lửa đang đứng yên thì cũng chẳng khác gì nhau. Sự đối xứng thẳng thế chừng nào vận tốc không thay đổi. Ngay khi có thay đổi, đối xứng lập tức bị phá vỡ. Và thời gian của Jules trôi đi chậm hơn so với thời gian của Jim bởi vì chính Jules là người chịu những hiệu ứng của sự tăng hoặc giảm vận tốc.

Vậy là cái phương thuốc làm trường sinh bất lão mà Einstein đã tìm ra, mang một đặc tính rất đặc biệt. Chỉ cần đạp chân ga (để tăng tốc) là tuổi tác sẽ đến chậm hơn. Song bạn không thể dùng vận tốc để làm chậm lại sự già nua của bạn so với trải nghiệm thời gian riêng của bạn được, mà chỉ có thể so với thời gian được cảm nhận bởi một người khác mà thôi. Chừng nào Jules còn đang du hành, thì anh ta cảm thấy mình già đi một cách bình thường. Chỉ khi nào trở về Trái đất, anh ta mới thấy rằng mình chỉ mới đi 12 năm chứ không phải 20 năm như đối với Jim.

Lửa của các vì sao

Chẳng những khối lượng tăng cùng với vận tốc, mà như Einstein đã phát hiện, khối lượng còn có thể chuyển hóa thành năng lượng. Phát hiện này sẽ làm thay đổi toàn bộ lịch sử loài người và hé lộ cho các nhà vật lý thấy... ý nghĩa của tội lỗi!

Đối với Newton, toàn bộ năng lượng của một vật đều nằm trong sự chuyển động của nó. Vật thể càng đi nhanh thì nó càng chứa đựng nhiều năng lượng, và năng lượng này luôn tỷ lệ thuận với bình phương vận tốc của nó. Nhưng năng lượng đó sẽ bằng không khi vật thể đứng yên. Einstein đã làm lật nhào tất cả những kết luận đó. Ông chứng minh rằng một vật thể nằm yên cũng có năng lượng, do khối lượng của nó tạo ra. Năng lượng của khối lượng này được tính đơn giản bằng cách nhân khối lượng với bình phương vận tốc ánh sáng, $E=mc^2$. Có lẽ đây là công thức vật lý nổi tiếng nhất thế giới. Bởi vì vận tốc ánh sáng cực lớn (300.000km/s) nên năng lượng của khối lượng cũng cực lớn. Ví dụ như bạn cân nặng 75kg và nếu bạn biết cách chuyển hóa khối lượng của mình thành năng lượng, thì bạn sẽ giải phóng ra một năng lượng lớn gấp 30 lần năng lượng của một quả bom nguyên tử mạnh nhất mà loài người đã từng cho nổ.

Chuyển hóa khối lượng thành năng lượng không phải là chuyện dễ. Tuy vậy, trong Đại chiến thế giới lần thứ hai, những nhà vật lý tài giỏi nhất của các nước đồng minh đã họp nhau lại tại một nơi hẻo lánh trong sa mạc New Mexico, ở Los Alamos, để thử nghiệm việc giải phóng sức mạnh của vật chất. Các nước đồng minh nghĩ rằng Hitler cũng đang làm như vậy và họ phải nhanh chóng vượt trước y. Các nhà vật lý ở Los Alamos đã nhận sự thách thức này một cách xuất sắc, và cuộc thử bom nguyên tử đầu tiên đã được

tiến hành vào rạng sáng một ngày tháng 7 năm 1945. Sự bình yên của sa mạc đã bị rung chuyển bởi vụ nổ kèm theo một quả cầu lửa cực lớn. Khi nhìn thấy hình nấm màu đen khổng lồ xuất hiện trên bầu trời nhợt nhạt, hai câu thơ sau đây trong bản trường ca Ấn Độ *Bhagavad Gita* đã chợt lóe lên trong đầu nhà vật lý Mỹ Robert Oppenheimer (1904-1967), Giám đốc của Trung tâm Los Alamos:

Ta đây đích thực Tử thần
Ta là sức phá tan tành thế gian.

Bất hạnh thay, chỉ sau vài tuần, một linh cảm đã được khẳng định khi hai quả bom nguyên tử bị ném xuống hai thành phố Nhật Bản, Hiroshima và Nagasaki, gây thảm họa cho trên một trăm nghìn nạn nhân và để lại một vết đen không thể phai mờ trong tâm khảm của nhân loại. Đó là hai ngày 6 và 9 tháng 8 năm 1945. Liệu chúng ta có đủ khôn ngoan để không bao giờ quên nỗi đau này và để gìn giữ mãi mãi hành tinh xanh và đẹp của chúng ta, không để nó lại rơi vào thảm họa nguyên tử?

Khi phát hiện ra tính tương đương của khối lượng và năng lượng, Einstein không hề nghĩ tới bom nguyên tử. Mối quan tâm chủ yếu của ông hướng vào sự chuyển động của các vật. Song những phát minh của khoa học cơ bản bao giờ cũng có những rẽ nhánh bất ngờ và có thể đi theo những phương hướng không thể dự báo được. Bản thân những phát minh này không chứa đựng cái thiện hay cái ác. Chỉ có các chính khách và các nhà quân sự mới là người quyết định cuối cùng giá trị đạo đức của những phát minh đó khi sử dụng chúng trong thực tiễn.

Phát minh của Einstein cũng đã cho phép giải quyết được nhiều vấn đề khoa học quan trọng. Vào đầu thế kỷ XX, người ta còn chưa hiểu được tại sao các ngôi sao cứ lấp lánh mãi và cái gì nuôi dưỡng

cho ngọn lửa của chúng, nhất là lại trong một thời gian rất dài. Bởi vì nhờ kỹ thuật xác định niên đại dựa vào các nguyên tố phóng xạ có trong vỏ Trái đất, người ta biết được rằng Mặt trời đã tồn tại từ vài tỷ năm trước. Nhờ tính tương đương giữa khối lượng và năng lượng, ngày nay chúng ta hiểu được rằng: do sự chuyển hóa một phần rất nhỏ bé khối lượng của Mặt trời chứa trong hyđrô, mà Mặt trời mới chói sáng, mới sưởi ấm chúng ta và là nguồn sống của muôn loài trên Trái đất. Sự chuyển hóa này hẳn là không hiệu quả lắm (vì chỉ có 0,7% khối lượng hyđrô được chuyển hóa thành bức xạ), nhưng nó cũng đủ để làm cho Trái đất của chúng ta trở thành một tổ ấm trong cái lạnh băng giá của khoảng không gian giữa các vì sao và giữa các thiên hà (gần bằng không độ tuyệt đối).

Lý thuyết Einstein cũng giúp làm sáng tỏ sự ra đời của Vũ trụ. Ngày nay người ta cho rằng Vũ trụ đã bắt đầu sự tồn tại của nó bằng một vụ nổ cực lớn, được gọi là Big Bang, xuất phát từ một chân không chứa đầy năng lượng. Sự tương đương giữa khối lượng và năng lượng cho phép ta hiểu được năng lượng này của chân không đã sản sinh ra như thế nào toàn bộ nội dung vật chất của Vũ trụ, từ các thiên hà đến các vì sao, từ các hành tinh đến con người và các vi trùng. Phát minh của Einstein cũng cho phép hiểu được hành trạng của các hạt cơ bản trong thế giới nội nguyên tử. Trong thế giới này, thông qua các va chạm, các hạt lúc hiện lúc biến như có phép thần vậy. Hai proton được phóng hết tốc lực đập vào nhau. Kết cục là không chỉ còn hai hạt gốc ban đầu, mà sẽ còn rất nhiều hạt khác. Một phần động năng của hai proton đã chuyển hóa thành khối lượng của các hạt mới. Vật lý Newton hoàn toàn bất lực không thể giải thích nổi tình huống này. Đối với Newton, hai hòn bi-a va vào nhau sẽ bắn ra theo hai hướng khác, song sự xuất hiện các vật thể mới trong trường hợp ấy là điều không thể

chấp nhận được. Và chúng ta cũng đã thấy ở trên, khi sử dụng sự tương đương giữa khối lượng và năng lượng cùng với nguyên lý bảo toàn năng lượng, nhà vật lý người Áo Wolfgang Pauli đã phát hiện sự tồn tại của hạt nơtrino.

Lực hấp dẫn và gia tốc

Sự đối xứng giữa Jules và Jim bị phá vỡ là bởi vì Jules đã phải trải qua quá trình tăng tốc và giảm tốc, trong khi Jim thì không phải như vậy. Sau bài báo viết năm 1905, Einstein tập trung nghiên cứu đồng thời bản chất của chuyển động có gia tốc và bản chất của hấp dẫn. Và ông đã nhanh chóng nhận ra rằng hai hiện tượng đó có mối liên hệ mật thiết với nhau. Sự lóe sáng mà sau này ông đánh giá là "ý tưởng hạnh phúc nhất trong cuộc đời tôi" đã đến với ông vào năm 1907, khi ông đang ngồi mơ màng tại Phòng cấp bằng sáng chế tại Berne, Thụy Sĩ. Giống như tất cả những tư tưởng lớn đã từng làm thay đổi tiến trình lịch sử, ý tưởng này giản dị tới mức thuần khiết. Einstein hình dung mình ở trong một thang máy đột nhiên tăng tốc vọt lên cao. Tất cả chúng ta chắc hẳn ai cũng đã từng trải qua kinh nghiệm này. Sự tăng tốc đẩy bạn về phía sàn, giống như bất thình lình lực hấp dẫn tăng lên và trọng lượng của bạn cũng tăng. Ngược lại, khi bạn ở trong một thang máy đang tăng tốc đi xuống, bạn cảm thấy rất khó chịu, thấy gan ruột như không còn theo mình rơi xuống nữa, toàn thân nhẹ bẫng, ít dính với mặt sàn dưới chân như trước và trọng lượng giảm. Bạn cũng có cảm giác như vậy khi đi trên máy bay, gặp phải một "ổ gà" không khí và người phi công phải thả cho máy bay đột ngột hạ xuống để tránh sự nhiễu động. Vậy là các thang máy đã giúp cho Einstein nhận ra rằng tác dụng của chuyển động có gia tốc tương đương với tác dụng gây bởi trường hấp dẫn.

Chúng ta hãy trở lại với Jules trên con tàu vũ trụ. Con tàu đã ở xa hẳn hành tinh hoặc ngôi sao, điều này có nghĩa là nó không còn bị tác dụng bởi một lực hấp dẫn nào nữa. Jules đã cho ngừng tất cả các động cơ của con tàu. Và con tàu theo quán tính tiếp tục bay với vận tốc không đổi trong sự tĩnh lặng của vũ trụ bao la. Bên trong khoang tàu, Jules đã ngủ, một dây đai buộc chặt anh ta vào ghế. Xung quanh anh, một chiếc cốc, một chiếc bút chì, một hòn tẩy và giấy viết thư, tất cả đang bồng bềnh trôi nổi. Jules đang vừa viết thư vừa uống cốc nước, thì đột nhiên rơi vào vòng tay của nữ thần Ngủ. Nếu không được giữ chặt bởi chiếc đai thì anh ta cũng sẽ bồng bềnh trôi nổi như cây bút chì và hòn tẩy thôi. Rồi Jules thức giấc và quyết định cho các động cơ hoạt động trở lại. Các đồ vật tiếp tục bồng bềnh trong không khí như chẳng có điều gì xảy ra. Nhưng sàn của con tàu tăng tốc áp gần lại các vật đó với vận tốc gia tăng, rồi cùng lúc tất cả các vật đều chạm sàn tàu. Nếu Jules có một hành khách trên tàu và người này không biết Jules đã cho chạy các động cơ, thì vị khách đó sẽ nghĩ rằng cây bút và hòn tẩy đã rơi xuống mặt sàn vì chúng bị bút bởi lực hấp dẫn, giống như một quả táo chín rơi xuống mặt đất do lực hấp dẫn của Trái đất vậy. Như vậy, những hiệu ứng của sự gia tốc tên lửa và những hiệu ứng của trường hấp dẫn là hoàn toàn đồng nhất.

Einstein đã nâng sự tương tự sâu sắc này lên thành một nguyên lý. "Nguyên lý tương đương" đã trở thành một công cụ cực kỳ mạnh mẽ để khám phá các bí mật của Tự nhiên. Ví dụ, để hiểu hành trạng của ánh sáng trong trường hấp dẫn, ta chỉ cần tự hỏi: ánh sáng hiển hiện như thế nào trước mắt một người quan sát đang chuyển động có gia tốc – đây quả là cách rút ngắn đáng kể việc tìm hiểu. Như vậy là nhà ảo thuật Einstein đã đưa khái niệm đối xứng lên một cấp độ cao hơn. Không hài lòng với việc tuyên bố rằng hai người quan sát

chuyển động với vận tốc không đổi đối với nhau sẽ cảm nhận cùng một thực tại vật lý hoàn toàn giống nhau, ông còn nói với chúng ta rằng: mọi sự khác biệt giữa thực tại vật lý được nhận biết bởi một người quan sát đang chuyển động với vận tốc không đổi, và thực tại vật lý được nhận biết bởi một người đang chuyển động có gia tốc, đều có thể được giải thích thông qua lực hấp dẫn.

Chiếc bút rơi cũng nhanh như viên đạn đại bác

Trong nguyên lý tương đương của mình, Einstein đã gộp cả kết quả của một bậc tiền bối lừng danh là nhà vật lý người Italia Galileo (1564-1642). Chính ông này cũng đã từng dày công suy nghĩ về bản chất của chuyển động có gia tốc và đã phát hiện ra rằng tất cả mọi vật đều rơi cùng một nhịp độ trong trường hấp dẫn của Trái đất, bất kể trọng lượng của chúng như thế nào. Trước Galileo, Aristoteles đã nghĩ rằng các vật nặng rơi nhanh hơn các vật nhẹ. Bằng một lập luận tài tình, Galileo đã chứng minh rằng hoàn toàn không phải như vậy. Giả sử người ta thả hai vật, một nặng một nhẹ, từ đỉnh cao của một tòa tháp. Hai vật này không được thả tách riêng mà cái nọ buộc vào cái kia bằng một sợi dây mảnh. Vấn đề đặt ra khi này là: vật nhẹ buộc vào vật nặng có làm cho vật sau rơi chậm lại hay nhanh hơn không? Nếu Aristoteles có lý, thì vật nhẹ rơi chậm hơn vật nặng, sẽ kéo căng sợi dây ra và làm cho chuyển động rơi của vật nặng chậm lại. Song người ta cũng có thể cãi lại rằng hai vật buộc vào nhau sẽ trở thành một hệ thống nặng hơn vật nặng và như vậy hai vật cùng nhau phải rơi nhanh hơn là một vật nặng riêng rẽ. Như vậy, nếu Aristoteles có lý thì chúng ta sẽ đi đến một kết luận vô lý là: sự hiện diện của vật nhẹ vừa làm chậm vừa đồng thời làm nhanh chuyển động rơi của vật nặng. Chỉ có một cách để thoát khỏi sự vô lý này là phải kết luận

rằng: sự hiện diện của vật nhẹ không ảnh hưởng gì đến chuyển động rơi của vật nặng, hay nói cách khác, vật nhẹ rơi xuống đất cũng nhanh như vật nặng vậy.

Lịch sử kể lại rằng Galileo đã từng cho các vật có trọng lượng khác nhau rơi từ đỉnh cao của tháp nghiêng Pisa xuống mặt đất để kiểm chứng kết quả mà ông đã nhận được chỉ bằng suy lý. Lý tưởng hơn cả là thí nghiệm đó phải được thực hiện trong chân không hoàn toàn, ở đó không có không khí, lực cản đối với chuyển động thực sự bằng không. Trong các điều kiện đó, một chiếc lông chim cũng rơi xuống đất nhanh như một quả đạn đại bác. Khoảng 350 năm sau, thí nghiệm này đã được một nhà du hành vũ trụ Mỹ thực hiện trên bề mặt Mặt trăng không có khí quyển. Ông ta đã dùng một quả bóng golf và một cái búa sắt để thí nghiệm.

Vật chất làm cong không gian

Với nguyên lý tương đương của mình, Einstein tiến hành xây dựng tòa lâu đài tuyệt mỹ của thuyết tương đối rộng (còn gọi là thuyết tương đối tổng quát), lý thuyết mô tả hành trạng của các vật trong trường hấp dẫn. Đây là một trong những tượng đài trí tuệ hài hòa nhất mà loài người đã từng dựng lên.

Một trong những hệ quả cơ bản đầu tiên của nguyên lý tương đương là không gian bị lực hấp dẫn uốn cong. Để thấy điều này, chúng ta hãy trở lại với Jules trên con tàu vũ trụ đang tăng tốc. Jules có một khẩu súng bắn tia laser. Đứng gần một thành tàu, Jules nhằm vào một cái bia treo ở thành tàu đối diện. Tia laser chỉ mất một phần rất nhỏ của giây để tới đích. Trong khi đó, sàn của con tàu đang tăng tốc tiếp tục nâng lên, khiến cho tia laser không rơi vào đúng bia mà vào một điểm ở phía dưới bia. Nếu Jules vạch

lại đường đi của tia laser, anh ta sẽ nhận được một đường cong chứ không phải một đường thẳng nữa. Sự tăng tốc của con tàu đã làm cong đường bay của ánh sáng. Song vì một chuyển động tăng tốc tương đương với một trường hấp dẫn, nên điều đó cũng có nghĩa là ánh sáng cũng bị uốn cong bởi lực hấp dẫn, thậm chí mặc dù hạt ánh sáng, tức photon, không có khối lượng. Vì trường hấp dẫn do một khối lượng vật chất sinh ra nên điều nói trên cũng có nghĩa là vật chất đã làm cong ánh sáng.

Ánh sáng không thích mất thời gian. Nó bao giờ cũng chọn con đường ngắn nhất để đi từ điểm này đến điểm khác. Trong không gian phẳng, không có độ cong, thì đó là một đường thẳng. Nhưng trong không gian cong, thì đó là một đường cong. Như vậy, nói rằng vật chất làm cong ánh sáng cũng tức là nói vật chất làm cong không gian. Mặt trăng quay một vòng xung quanh Trái đất trong thời gian một tháng theo một quỹ đạo cong hình elip. Theo Newton quỹ đạo hình elip này được quy định bởi lực hấp dẫn do Trái đất tác dụng lên Mặt trăng và được truyền bởi một môi trường huyền bí có tên là "ête"[1]. Einstein đã quét sạch các khái niệm về lực và ête. Theo ông, chính khối lượng của Trái đất đã làm cong không gian quanh nó, và con đường ngắn nhất để bay quanh Trái đất trong không gian cong này là một elip. Điều đó giải thích tại sao quỹ đạo Mặt trăng lại có dạng đó.

Einstein thậm chí còn nghĩ ra cách để kiểm chứng sự uốn cong không gian bởi vật chất. Ông đề xuất ý kiến quan sát các vì sao xa xôi có vị trí chiếu trên bầu trời ở rất gần vị trí của Mặt trời. Nếu không gian thật sự bị trường hấp dẫn của Mặt trời uốn cong, thì

1. Chính ête này, như chúng ta đã thấy ở trên, cũng được xem là môi trường truyền lực điện và từ.

đường đi của ánh sáng phát ra từ các ngôi sao này sẽ bị lệch hướng khi nó đi qua gần Mặt trời. Sự lệch hướng này được thể hiện bằng một độ dịch góc rất nhỏ (cỡ ½000 độ, tức là gần bằng kích thước góc của một đồng xu đặt cách xa 10km) so với hình ảnh của chính những ngôi sao ấy được chụp 6 tháng sau, khi Trái đất ở phía đối diện trên quỹ đạo của nó quanh Mặt trời, và ánh sáng từ các vì sao ấy không còn đi qua trường hấp dẫn của Mặt trời để đến với chúng ta nữa. Để chụp các ngôi sao có vị trí trên bầu trời ở gần Mặt trời, phải đợi đến lúc có nhật thực, khi Mặt trăng che khuất ánh sáng chói lòa của nó. Năm 1919, hai đoàn thám hiểm người Anh đã được tổ chức đi đến Brazil và Guinea thuộc Anh để quan sát nhật thực nhằm kiểm chứng điều tiên đoán của Einstein. Kết quả thật là ngoạn mục. Ánh sáng của các vì sao đã thật sự đi lệch do trường hấp dẫn Mặt trời và có góc lệch đúng bằng góc đã được tính bởi Einstein. Sự kiểm chứng thuyết tương đối ngoạn mục này đã được báo chí trên khắp thế giới đưa tin trên trang nhất. Một thế giới chết chóc, mệt mỏi, vừa mới bước ra khỏi cuộc đại chiến gây tàn phá nặng nề, đã bị chinh phục bởi thông tin khoa học này. Tên tuổi của Einstein đã đạt tới đỉnh cao của vinh quang.

Trường hấp dẫn làm chậm thời gian

Nhưng chưa phải đã hết. Nguyên lý tương đương còn dẫn Einstein đến một kết luận điên rồ hơn: rằng thời gian cũng bị trường hấp dẫn làm cho chậm lại. Để hiểu vấn đề này chúng ta hãy cùng với Emilie và Claire tới thăm quan tháp Eiffel. Emilie đứng dưới chân tháp còn Claire trèo lên đỉnh tháp cao 320 mét. Hai nhà vật lý trẻ này muốn so sánh thời gian của họ. Ánh sáng vẫn là phương tiện họ dùng để thông tin cho nhau. Họ thỏa thuận với nhau rằng cứ mỗi giây Emilie lại gửi cho Claire một tín hiệu ánh sáng theo đồng

hồ của Emilie. Liệu Claire có nhìn thấy tín hiệu sáng đến với mình trong các khoảng thời gian đều đặn mỗi giây? Để giúp ta trả lời câu hỏi đó, cần phải cầu viện đến sự hỗ trợ của nguyên lý tương đương của Einstein. Theo nguyên lý này, tình trạng của Emilie và Claire, ở chân và đỉnh tháp Eiffel, tương đương với một tình huống tưởng tượng, trong đó tháp Eiffel được đưa ra khỏi trọng trường Trái đất và đặt vào một con tàu vũ trụ khổng lồ đang tăng tốc. Tình hình bây giờ được phân tích dễ dàng hơn. Do con tàu tăng tốc, Claire rời xa các tín hiệu ánh sáng của Emilie mỗi lúc một nhanh. Các tín hiệu này càng lúc càng phải mất nhiều thời gian hơn mới đuổi kịp Claire đang ở đỉnh tháp. Do vậy Claire nhìn thấy các tín hiệu sáng đến với cô ta mỗi lúc một cách xa nhau và lớn hơn một giây. Vì thế, từ trên cao, Claire nhìn thấy thời gian của Emilie ở dưới chân tháp bị kéo giãn ra và trôi chậm lại so với thời gian của cô. Trường hấp dẫn của Trái đất như vậy đã làm cho thời gian đi chậm lại. Emilie ở dưới, gần tâm của Trái đất hơn và cảm thấy lực hấp dẫn của Trái đất lớn hơn, bởi vì cường độ của lực này tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách tới tâm Trái đất. Ngược lại, Claire ở trên đỉnh ngọn tháp, xa tâm Trái đất hơn, nên cô ta chịu một lực hấp dẫn của Trái đất nhỏ hơn và thời gian của cô trôi nhanh hơn.

Việc thời gian đi chậm lại là hoàn toàn hiện thực. Những người ở các tầng cao trong tòa nhà của bạn già nhanh hơn những người ở tầng trệt. Cũng như vậy, thời gian đối với người sống trên đường xích đạo trôi nhanh hơn so với thời gian của những người Exkimô sống ở Bắc Cực. Sở dĩ như vậy là do Trái đất không hoàn toàn tròn. Quả địa cầu quay quanh mình nó, nên đường xích đạo chịu một lực ly tâm khiến cho nó phình ra nhiều hơn (0,3%) so với hai cực Trái đất. Điều này làm cho những người sống tại vùng xích đạo ở xa tâm Trái đất hơn nên chịu một lực hấp dẫn của Trái đất nhỏ

hơn so với người Exkimô. Mặc dù lực hấp dẫn này ngăn không để chúng ta trôi nổi trong không khí và khiến cho con tàu vũ trụ phải mất hàng tấn chất đốt mới thoát khỏi sức hút của nó, song lực hấp dẫn của Trái đất cũng chưa đủ mạnh, khiến cho sự khác biệt về thời gian là không đáng kể đối với một đời người. Trong vòng một giờ, một chiếc đồng hồ trên Trái đất chỉ chạy chậm một phần tỷ giây so với chiếc đồng hồ trong vũ trụ, xa lánh mọi ảnh hưởng của lực hấp dẫn. Nếu suốt đời bạn sống ở tầng trệt, bạn sẽ chỉ được lợi hơn một phần triệu giây so với người sống ở tầng mười. Thật may mắn thay, nếu không như thế, thì trên thế giới sẽ xảy ra cuộc khủng hoảng gay gắt về nhà ở, sẽ chẳng còn ai muốn sống ở các tầng cao nữa. Ngoài ra, nếu không thế thì cũng sẽ rất gay go, vì dân chúng sẽ nô nức rời bỏ các vùng xích đạo nắng nóng để tìm đến giam mình trong các ngôi nhà tuyết lạnh lẽo ở Bắc Cực hòng được sống lâu hơn chút nữa.

Các đồng hồ thông thường tội nghiệp của chúng ta không đủ chính xác để chỉ ra được sự khác biệt nhỏ bé về thời gian như vậy. Chỉ có các dụng cụ tối tân, tinh xảo mới làm được việc đó. Hai nhà vật lý Mỹ ở trường Đại học Harvard là Robert Pound và Glen Rebka, đã thành công trong việc đo được sự thay đổi tương đối của thời gian chỉ 2,5 phần triệu tỷ, giữa đỉnh và chân một tòa tháp cao 22,5 mét ở Harvard. Sự thay đổi này tương đương với sự chạy chậm lại một giây giữa hai đồng hồ, một đặt ở chân và một ở đỉnh tòa tháp đó, trong vòng 100 triệu năm.

Các nhà thiên văn cũng sử dụng lực hấp dẫn của Mặt trời để đo sự chậm lại của thời gian. Do khối lượng cực lớn của nó, Mặt trời có lực hấp dẫn lớn hơn nhiều so với lực hấp dẫn của Trái đất, vì vậy mà thời gian của Mặt trời trôi chậm hơn thời gian Trái đất. Sự chậm lại này chỉ cỡ hai phần triệu. Vì Trái đất và các hành tinh

khác đều quay quanh Mặt trời, nên vị trí của chúng trên bầu trời cũng thay đổi. Khi một trong số các hành tinh này ở vào vị trí gần như thẳng hàng với Mặt trời và Trái đất, người ta có thể sử dụng hành tinh này để phản hồi các tín hiệu vô tuyến được phát đi từ các rađa trên mặt đất, và đo thời gian đi-về của các sóng này. Do các sóng vô tuyến này đi qua rất gần bề mặt Mặt trời, nơi có thời gian trôi chậm hơn, nên thời gian đi-về của các sóng vô tuyến sẽ dài hơn một chút so với thời gian đi-về của các sóng đó, trong trường hợp hành tinh phản xạ ở một vị trí khác trên bầu trời sao cho các sóng vô tuyến đi về không bị ảnh hưởng lực hấp dẫn của Mặt trời. Nói cách khác, các tiếng dội từ hành tinh sẽ tới chậm hơn khi nó đi gần Mặt trời. Hàng trăm tiếng dội đã được đo cho đến nay đều chứng minh lý lẽ của Einstein là đúng.

Không gian hóa thời gian

Lực hấp dẫn làm chậm thời gian và làm cong không gian. Chỉ cần một cú nhấn ga để đạt tới vận tốc lớn hơn thì thời gian sẽ dài ra và không gian co lại. Jim chẳng những nhìn thấy thời gian của Jules - người đang bay với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng - chỉ trôi bằng 60% nhịp độ thời gian của bản thân mình, mà còn thấy tên lửa của Jules co lại chỉ còn bằng 60% chiều dài bình thường của nó. Điều này tựa như sự kéo giãn thời gian được bù lại bằng sự co lại của không gian. Trong thế giới của Newton, thời gian và không gian là hai diễn viên độc lập, chúng làm những cái mà mình thích trên sàn diễn vũ trụ bao la. Nhưng Einstein không chấp nhận sự tách biệt này. Ông đã kết duyên cho thời gian và không gian. Và thế là từ nay, thời gian và không gian hợp thành một cặp không thể tách rời nhau, không thể chia lìa, luôn cùng nhau hành động một cách hài hòa. Thời gian và không gian tách rời nhau chỉ còn

là những cái bóng của thực tại. Chỉ có không-thời gian hợp nhất mới thực sự tồn tại.

Cách đây khoảng 20.000 năm, tổ tiên chúng ta ở thời đại đồ đá cũ, bằng trực giác của mình, đã cho thời gian một chiều không gian, khi họ ghi sự trôi qua một ngày bằng một dấu khắc trên xương súc vật. Einstein trong khi bác bỏ tính phổ quát của thời gian đã cung cấp một minh chứng khoa học cho sự không gian hóa đó của thời gian. Thời gian, khi trở nên co giãn được tùy theo chuyển động, đã quét sạch các khái niệm như tính đồng thời, quá khứ, hiện tại và tương lai phổ quát. Cái "hiện nay" của tôi có thể là quá khứ hoặc tương lai của bạn. Tất cả phụ thuộc vào sự chuyển động của tôi đối với bạn và vào khoảng cách giữa tôi và bạn. Chẳng hạn, chỉ cần đặt cuốn sách này xuống và đi qua phòng khách của mình, là bạn đã làm thay đổi cái "hiện tại" của bạn cả một ngày trọn vẹn so với cái "hiện tại" của một ai đó đang sống trên thiên hà Andromede cách xa ta tới 2 triệu năm ánh sáng. Hai cái "hiện tại" sẽ trùng khớp với nhau, nếu cả hai người đều bất động và đang ngoan ngoãn ngồi đọc sách. Song cái "hiện tại" của bạn sẽ trở thành tương lai sau một ngày của người ở thiên hà Andromede, nếu trong khi đi qua phòng khách bạn tiến gần đến thiên hà đó một vài mét. Trái lại, nếu bạn đi ra xa thiên hà đó thì "hiện tại" của bạn sẽ lùi lại một ngày về quá khứ của người trên thiên hà Andromede.

Sự mất đi này của khái niệm về tính đồng thời làm cho những khái niệm quen thuộc về quá khứ, hiện tại và tương lai của chúng ta bị tổn thương. Chúng ta nghĩ rằng quá khứ đã kết thúc, nó đã vĩnh viễn biến vào ký ức và chúng ta không còn có thể làm gì để sửa đổi nó được nữa. Chỉ có hương vị của chiếc bánh madeleine và ma thuật của các hàng chữ mới làm sống lại ở Proust (1871-1922) thời gian đã mất. Trái lại, chúng ta nghĩ rằng tương lai còn

có thể được tạo ra, nó chứa đựng những ước mơ và niềm hy vọng của chúng ta, và các hoạt động hiện tại của chúng ta có thể có ảnh hưởng và tạo ra hình hài của tương lai đó. Chúng ta cảm thấy thời gian đang trôi và ngôn ngữ của chúng ta cũng phản ánh điều đó: chúng ta chả thường nói "thời gian như nước chảy dưới cầu" hay "thời gian như bóng câu qua cửa sổ" là gì. Tuy nhiên, thời gian tâm lý học không ăn nhập gì với thời gian vật lý của Einstein. Như ông đã từng nói, nếu tương lai của tôi có thể là quá khứ của bạn tôi và nếu quá khứ của người láng giềng có thể là hiện tại của tôi, thì quá khứ chưa phải đã kết thúc và tương lai không phải là sắp đến nữa. Quá khứ và tương lai phải cùng tồn tại với hiện tại. Giống như một cảnh đẹp trải dài tít tắp trong không gian, thời gian vật lý ở đây cũng hoàn toàn hiện diện ở chính thời điểm đó. Cái phong cảnh thời gian sẽ trải dài từ chân trời quá khứ đến chân trời tương lai. Mọi sự phân biệt đối với quá khứ, hiện tại và tương lai chỉ còn là ảo giác. Trái với thời gian tâm lý học, thời gian vật lý không trôi và cũng không chảy qua. Nó tồn tại thành một khối, nghĩa là nó hiện hữu, đơn giản thế thôi. Thời gian vật lý có nhiều điểm chung với trực giác thi ca. Chẳng hạn, chúng ta hãy nghe William Blake (1757-1827) trong bài thơ *Jerusalem*:

Ta nhìn thấy
Quá khứ, Hiện tại và Tương lai
Tất cả cùng nhau trải dài trước mắt.

Hoặc như trong bài *Burnt Norton* của thi sĩ T.S Eliot (1888-1965):

Và cái Kết thúc cùng cái Bắt đầu
Vẫn luôn ở đó.

Cả trước cái Bắt đầu và sau cái Kết thúc,
Tất cả luôn chỉ là Hiện tại mà thôi.

Thời gian vật lý giải quyết rất tốt các nghịch lý do thời gian tâm lý đặt ra: nếu thời gian thật sự trôi qua thì vận tốc của nó là bao nhiêu? Một vấn đề phi lý hiển nhiên. Trái lại, nếu thời gian chỉ hiện hữu đơn giản vậy thôi, tức là nếu nó không trôi đi, thì câu hỏi trên cũng không cần phải đặt ra nữa. Tuy nhiên, từ kinh nghiệm sống của con người, ta đều cảm thấy có một dòng thời gian đưa chúng ta từ cái nôi đến nấm mồ. Cái gì đã tạo ra cảm giác về sự chuyển động đó? Phải chăng cái cảm giác ấy chỉ là một kiến trúc thuần túy tinh thần, một ảo tưởng được tạo ra trong bộ não chúng ta, chứ không có liên quan gì đến thực tại cả? Cái vẻ bề ngoài đó phải chăng chỉ là cái bóng của thực tại, như Platon đã từng quan niệm? Hay phải chăng còn có một khía cạnh nào đó của thời gian vật lý mà ta chưa nắm bắt được? Einstein đã làm đảo lộn quan niệm của chúng ta về thời gian vào đầu thế kỷ XX, khi ông cho nó kết duyên với không gian. Liệu sang thế kỷ XXI có xuất hiện một cuộc cách mạng mới nữa, ngõ hầu giải quyết được sự lưỡng phân sâu sắc giữa hai thời gian, thời gian vật lý và thời gian tâm lý, hay không? Dù thế nào đi nữa, có một điều chắc chắn là: lời giải đáp cho vấn đề đó khó có thể tìm ra được, chừng nào chúng ta còn chưa hiểu bộ não của chúng ta hoạt động và nhận biết thời gian như thế nào, và tất cả những cái đó có mối liên hệ như thế nào với quan niệm của chúng ta về ý chí tự do.

Einstein và các “lỗ đen”

Lực hấp dẫn làm chậm thời gian và làm cong không gian. Những khái niệm đó đều trái với lẽ thông thường hằng ngày của chúng ta.

Tuy nhiên, những khái niệm ấy đã được kiểm chứng bởi các đồng hồ đặt trên một tòa tháp: đồng hồ đặt ở đỉnh tháp chạy nhanh hơn các đồng hồ đặt ở chân tháp. Chúng cũng còn được kiểm chứng bởi các tín hiệu vô tuyến bị trễ và bởi các tia sáng của các vì sao bị lệch khi đi qua trường hấp dẫn của Mặt trời. Song những hiệu ứng rất nhỏ nhoi này chỉ có thể được phát hiện nhờ các dụng cụ tối tân nhất. Và nếu như chúng là những hệ quả duy nhất của thuyết tương đối, thì có lẽ các ý tưởng của Einstein đã mất hết sức sống của chúng rồi. Nhưng thực tế không phải như vậy. Nửa cuối thế kỷ XX đã chứng kiến sự trỗi dậy mạnh mẽ các ý tưởng của Einstein trên tất cả các lĩnh vực, khiến cho người ta gọi thời kỳ này là thời hoàng kim của thuyết tương đối. Trong vật lý thiên văn, đó là nhờ sự khám phá ra một loạt những thứ kỳ lạ, thứ sau còn kỳ lạ hơn thứ trước. Kỳ lạ nhất trong bộ sưu tập tuyệt vời đó của vật lý thiên văn, không còn nghi ngờ gì nữa, là các "lỗ đen"!

Ý tưởng về lỗ đen đã xuất hiện từ trước khi thuyết tương đối ra đời. Nhà triết học Anh John Michell (1831-1879) đã đề xuất ý tưởng này từ năm 1873. Nhà toán học Pháp Pierre Simon de Laplace (người đã ca ngợi hết lời quyết định luận và cũng là người đã trả lời Hoàng đế Napoleon một cách đầy kiêu hãnh rằng ông không cần tới giả thuyết về Chúa để giải thích kết cấu của thế giới) cũng đã ghi nhận ý tưởng này trong tác phẩm nổi tiếng của ông nhan đề *Hệ thống thế giới,* được xuất bản năm 1796. Lý lẽ của họ rất đơn giản. Phải đạt tới một vận tốc nào đó mới thoát được ra khỏi một trường hấp dẫn. Ví dụ, để thoát khỏi trường hấp dẫn của Trái đất, phải chuyển động với vận tốc vượt quá 11km/s, và để thoát khỏi trường hấp dẫn của Mặt trời thì phải có vận tốc vượt quá 617 km/s. Giả sử có một khối lượng tạo ra trường hấp dẫn lớn tới mức để vượt ra

khỏi nó, cần phải có một vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng. Trong trường hợp ấy, ánh sáng không thể thoát ra khỏi khối lượng này và khối lượng ấy sẽ trở thành lỗ đen. Tất nhiên, vào thời kỳ đó, tên gọi "lỗ đen" còn chưa xuất hiện (nhà vật lý Mỹ John Wheeler (1911-) mới đưa ra tên gọi này vào năm 1967) và Laplace đã gọi vật này là "thiên thể kín mít". Sự việc dừng lại ở đó trong hơn một thế kỷ, do thiếu một lý thuyết tinh xảo hơn và thiếu những quan sát chính xác hơn. Ý tưởng này vượt quá xa thời đại của Laplace.

Năm 1915, khi phát minh ra các phương trình của thuyết tương đối, Einstein hiểu ngay rằng các phương trình của ông đã dự báo trước sự tồn tại của các vật có trường hấp dẫn mạnh tới mức ánh sáng không thoát ra khỏi chúng được. Tuy nhiên, ngay cả Einstein cũng chưa sẵn sàng chấp nhận một ý tưởng kỳ cục như vậy. Ông tự nói với mình rằng các phương trình của ông sẽ mất chỗ đứng khi trường hấp dẫn trở nên vô cùng lớn. Theo ông, Tự nhiên đủ thông minh để không dành cho chúng ta sự tồn tại của những quái vật kỳ quặc như vậy. Do đó, ông đã viết nhiều bài báo tuyên bố kiên quyết chống lại sự tồn tại của các lỗ đen. Nhưng ở đây nữa, ông đã mắc sai lầm. Các lỗ đen vẫn thực sự tồn tại. Các nhà thiên văn đã phát hiện ra chúng ở trung tâm của các thiên hà. Ngay cả trong dải Ngân Hà của chúng ta cũng có. Các lỗ đen hiện diện khắp nơi trong vật lý thiên văn đương thời và thường xuất hiện trên trang nhất của các tờ báo. Bản thân Einstein cũng không sống được lâu hơn để chứng kiến các lỗ đen chiếm lĩnh tiền cảnh của sân khấu vật lý thiên văn. Ông mất năm 1955 tại Princeton. Song, trước đó khá lâu ông đã không còn quan tâm gì đến các thiên thể kỳ lạ này, những thiên thể đặc chắc thách thức lương tri chúng ta về không gian và thời gian. Nguyên nhân của sự thờ ơ này có nhiều. Trước hết, vào những năm 1920, một lý thuyết mới về vật chất ra đời:

đó là cơ học lượng tử. Lý thuyết này giải thích thực tại thông qua những may rủi và xác suất, một cách giải thích mà Einstein hoàn toàn không ưa, vì ông vốn là một tín đồ thâm căn cố đế của quyết định luận. Ông thường nhắc đi nhắc lại rằng: "Thượng đế không chơi trò xúc xắc". Ông đã dành cả ba mươi năm còn lại của đời mình để xây dựng một lý thuyết lớn nhằm thống nhất lực hấp dẫn với các lực điện từ và xóa bỏ thuyết bất định đang được đề cao. Nhưng rồi những nghĩa vụ, và không may cùng với chúng cả danh tiếng nữa, đã chiếm mất rất nhiều thời gian của ông. Trong Đại chiến thế giới thứ hai, chính ông đã bị nhà vật lý người Hung, Leo Szilard (1898-1964), thúc bách viết thư cho Tổng thống Mỹ Franklin Roosevelt (1882-1945) để đề nghị ông ta cho triển khai chương trình chế tạo bom nguyên tử. Einstein vốn là người yêu chuộng hòa bình sâu sắc, song những trải nghiệm của cá nhân ông về chủ nghĩa phát xít (ông đã phải rời khỏi nước Đức để tránh nó) đã thuyết phục rằng không có sự chọn lựa nào khác. Cần phải đánh bại Hitler một cách nhanh chóng. Tuy nhiên, sau hai cuộc ném bom nguyên tử xuống Hiroshima và Nagasaki, ông đã đấu tranh mạnh mẽ đòi hủy bỏ tất cả các vũ khí hạt nhân và có tình cảm gần gũi với Liên Xô. Năm 1952 Ben Gourion (1886-1973) đã mời ông làm tổng thống nhà nước Israel, nhưng ông đã từ chối.

Là một nhân vật đơn độc và được mọi người tôn kính, Einstein rời xa dần nền khoa học vật lý đương thời. Ông không còn quan tâm đến những phát minh lớn có tính cách mạng trong lĩnh vực vật lý các hạt cơ bản vào những năm 1950 và vẫn kiên trì chống lại môn cơ học lượng tử, bất chấp những thành công của nó trong việc giải thích những tính chất của các nguyên tử. Còn đối với việc khám phá ra những điều kỳ lạ của các lỗ đen, ông để mặc cho các nhà vật lý trẻ tiến hành và không tham gia gì ngay từ sau những năm 1940.

Trong khi đi sâu vào thế giới các lỗ đen, các bậc đàn em của ông còn phát hiện ra nhiều hiện tượng kỳ diệu khác nữa.

Nếu bạn trở thành lỗ đen

Làm thế nào định vị được một lỗ đen? Để trả lời câu hỏi này, trước hết chúng ta cần phải hiểu "cách thức chế tạo" ra những lỗ đen đó, tức là một trường hấp dẫn có cường độ đủ mạnh để khiến cho ánh sáng không thể thoát ra đã được tạo ra như thế nào. Về nguyên tắc, mọi vật đều có thể trở thành lỗ đen, miễn là nén được nó lại đủ chặt. Giả thử bạn cân nặng 75kg và nếu có một bàn tay khổng lồ nào đó đủ sức bóp cho bạn nhỏ lại tới kích thước chỉ còn bằng 10^{-23}cm, tức là nhỏ hơn một hạt nhân nguyên tử 10 tỷ lần, thì bạn sẽ trở thành lỗ đen. Thực tế, kích thước mà bạn muốn nén nhỏ vật lại tỷ lệ thuận với khối lượng của nó. Vật càng nặng thì bạn phải nén càng ít hơn. Chẳng hạn, nếu bạn muốn biến một con voi cân nặng 750 kg, tức là gấp 10 lần khối lượng của bạn, thành lỗ đen, bạn phải nén nó lại tới kích thước chỉ còn bằng 10^{-22}cm, cũng tức là 10 lần lớn hơn kích thước lỗ đen do nén nhỏ bạn mà có. Song, việc nén bằng tay không phải là chuyện dễ. Lực điện từ có tác dụng gắn kết các nguyên tử và các phân tử với nhau, làm cho bộ xương của chúng ta rắn chắc và cũng là lực gắn kết, tạo dáng cho các đồ vật, sẽ điên cuồng chống lại sự nén nhỏ đó. Thế hóa ra lại may, vì nếu không, con người muốn thanh toán nhau sẽ tìm cách biến đối thủ của họ thành lỗ đen hết.

Thực tế, muốn thắng được lực điện từ, cần phải cầu viện đến lực hấp dẫn. Song, Newton đã dạy rằng cường độ của lực hấp dẫn phụ thuộc vào khối lượng của vật thể. Vật thể càng nặng thì lực hấp dẫn của nó càng lớn. Do vậy muốn tìm được ra các lỗ đen thì

phải tìm các khối lượng lớn. Nhưng các khối lượng đó nằm ở đâu nếu không phải là các vì sao? Tuy nhiên, cần chú ý rằng tất cả các ngôi sao đều không làm được việc đó. Hãy lấy Mặt trời của chúng ta làm một ví dụ. Mặt trời có khối lượng khổng lồ, bằng 2×10^{33} gam (số 2 với 33 con số 0 đi theo sau). Mặc dù có khối lượng lớn như vậy, nhưng Mặt trời vẫn không bị co lại mãnh liệt dưới tác dụng của lực hấp dẫn của chính nó, bởi lẽ Mặt trời điên cuồng sản sinh ra năng lượng trong nhân của nó, nơi được nung nóng tới hơn 10 triệu độ. Trong cái lò nung đó, các hạt nhân hyđro (hay cũng chính là hạt proton) va đập vào nhau, khiến cho hàng triệu phản ứng nhiệt hạch xảy ra trong mỗi giây và Mặt trời đã chuyển hóa một phần rất nhỏ (khoảng 0,7%) khối lượng hyđro của nó thành bức xạ. Chính bức xạ này đã làm cho Mặt trời chói sáng và không bị co sập lại. Khi mở đường đi ra bề mặt, xuyên qua các lớp vật chất ở ngoài cùng, bức xạ này đã đương đầu lại lực hấp dẫn của Mặt trời, lực muốn làm cho Mặt trời co sập lại. Một sự cân bằng giữa lực hấp dẫn và lực của bức xạ đã được xác lập từ 4,6 tỷ năm trước, vào cái thời mà Mặt trời mới sinh ra. Sự cân bằng này còn kéo dài khoảng 4,5 tỷ năm nữa: Mặt trời hiện mới tồn tại được nửa vòng đời của nó. Vào cuối của nửa vòng đời sau, nó sẽ cạn kiệt chất đốt, các phản ứng nhiệt hạch sẽ dừng lại và không còn bức xạ để chống lại lực hấp dẫn nữa. Đến lúc đó, Mặt trời sẽ tự co lại. Nhưng liệu khi đó nó có biến thành lỗ đen không?

Câu trả lời là không. Với khối lượng hiện thời, muốn trở thành lỗ đen, Mặt trời phải co lại từ bán kính hiện nay 700.000 km xuống còn dưới 3km. Song vật lý học cho chúng ta biết rằng sự co lại của Mặt trời sẽ dừng lại ở bán kính khoảng 6000 km, cỡ bán kính của Trái đất, nghĩa là còn rất xa bán kính 3km cần thiết phải có. Vì sao có sự dừng lại này? Bởi vì một lần nữa, lực hấp dẫn gặp lực chống

lại nó. Nhưng lần này, lực chống lại lực hấp dẫn không phải là lực của bức xạ mà là tác dụng liên hợp của các electron trong lòng Mặt trời. Thực vậy, vật chất của Mặt trời bị nung nóng đến hơn 10 triệu độ, va đập nhau rất mãnh liệt và giải phóng các electron ra khỏi nguyên tử. Sự co lại dữ dội của Mặt trời làm cho các electron này ngày càng bị nén chặt trong một không gian ngày càng bị thu hẹp. Bởi vì các electron không chịu nổi sự chồng chất hạt nọ lên hạt kia, nên chúng đã tạo ra một lực chống lại, làm dừng quá trình co lại của Mặt trời[1]. Một sự cân bằng mới lại được xác lập giữa lực hấp dẫn và lực chống trả của các electron. Mặt trời trở thành cái được gọi là "sao lùn trắng". Lùn là vì kích thước bé nhỏ của nó so với một ngôi sao bình thường, còn "trắng" vì đó là màu của ánh sáng do nó phát ra. Đây là năng lượng do chuyển động co lại của nó sản sinh ra và được chuyển hóa thành bức xạ. Vật chất bị nén trong "sao lùn trắng" chặt tới mức một centimét khối của xác ngôi sao này cân nặng đến một tấn! Điều này cũng tựa như bạn đặt một con voi trên một chiếc thìa vậy. "Sao lùn trắng" sẽ phát xạ và nguội đi dần trong vòng nhiều tỷ năm nữa trước khi nó tắt hẳn và trở thành một "sao lùn đen".

Những ngọn đèn pha trên trời

Việc tìm kiếm lỗ đen ở phía Mặt trời tỏ ra không có kết quả. Thực ra, tất cả các ngôi sao có khối lượng cho đến cỡ 1,4 lần khối lượng Mặt trời, đều có cùng một số phận như ngôi sao của chúng ta mà thôi. Khi chết, chúng không trở thành lỗ đen mà thành các

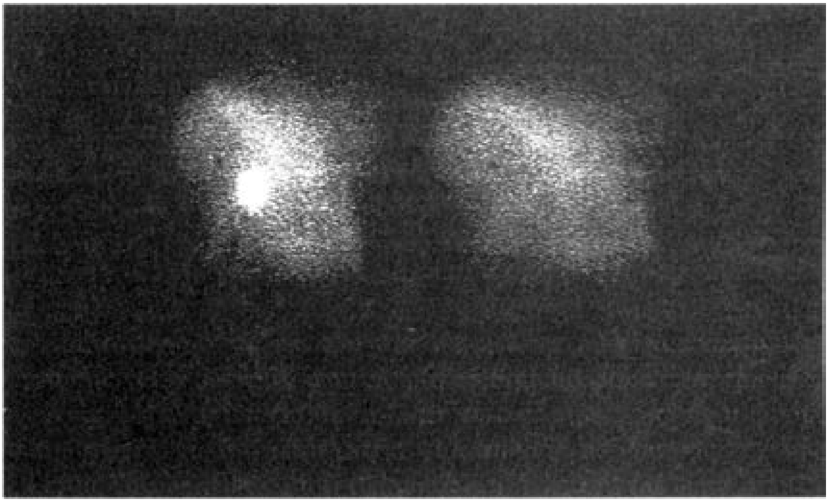
---

1. Nguyên lý thể hiện sự chống lại của các electron (hay nơtron) đối với sự dồn nén chúng quá chặt với nhau được gọi là nguyên lý loại trừ Pauli, theo tên nhà vật lý người Áo Wolfgang Pauli, người đầu tiên phát hiện ra nguyên lý đó.

“sao lùn trắng”. Vì vậy, chúng ta cần phải đi tìm các ngôi sao có khối lượng lớn hơn 1,4 lần khối lượng Mặt trời. Nhưng một lần nữa chúng ta phải dè chừng, bởi vì không phải tất cả các ngôi sao lớn này đều làm nên chuyện. Số phận của chúng còn tùy thuộc vào việc chúng có khối lượng nhỏ hơn hay lớn hơn ba lần khối lượng Mặt trời. Các ngôi sao có khối lượng nằm trong khoảng từ 1,4 đến gần 3 lần khối lượng Mặt trời cũng lại thoát khỏi số phận trở thành các lỗ đen. Đối với các ngôi sao này, sự tự co lại do lực hấp dẫn gây ra cũng bị chặn lại giữa chừng, nhưng lực chống lại không phải của các electron, mà là của các nơtron ở bên trong các ngôi sao. Nơtron là các hạt cơ bản của vật chất có khối lượng xấp xỉ bằng khối lượng proton, nhưng lớn gấp 1836 lần khối lượng của electron và không mang điện. Giống như các electron, các nơtron cũng không chịu được cảnh chồng chất hạt nọ lên hạt kia[1]. Tuy nhiên, chúng tỏ ra dễ dãi hơn khi bị lèn chặt với nhau, khiến cho sự co lại tiến xa hơn rất nhiều và chỉ dừng lại ở bán kính 10km. Xác chết của ngôi sao, do sự tự co lại đó, trở thành một ngôi sao được cấu tạo hoàn toàn bằng nơtron và có kích thước cỡ vùng Paris. Giống như nghệ sĩ trượt băng sẽ quay nhanh hơn khi áp chặt cánh tay dọc theo thân người, sao nơtron trong khi co lại cũng quay một cách điên cuồng quanh nó, đôi khi quay tới hàng trăm vòng mỗi giây, tựa như một con quay trên trời vậy. Nhờ năng lượng được lấy từ quá trình co lại, sao nơtron phát ra bức xạ chia thành hai chùm ánh sáng quét không gian như một ngọn đèn pha quay, và với độ đều đặn chẳng kém gì một dụng cụ gõ nhịp. Mỗi lần một trong hai chùm sáng đó gặp Trái đất, các kính thiên văn đều thu được tín hiệu với độ kéo dài rất ngắn và được lặp lại trong mỗi lần quét.

1. Xem chú thích 301

Dường như ngôi sao có mạch đập vậy. Từ đó mới có cái tên *pulsar* (viết tắt của cụm từ tiếng Anh *pulsating star*, có nghĩa là sao mạch đập) (H. 38). Trong sao nơtron, vật chất còn bị nén chặt hơn nữa: một centimét khối của nó cân nặng tới một triệu tỷ gam, tựa như người ta đặt một tỷ con voi trên một chiếc thìa vậy!



Hình 38. *Một ngôi sao nơtron nhấp nháy*. Ở trung tâm tinh vân Con cua, các mảnh của một sao nặng đã bùng nổ trong cơn hấp hối dữ dội và thông tin về cái chết đó đã tới được với chúng ta vào năm 1054. Một ngôi sao đã xuất hiện và biến mất trong vòng chỉ có 33 micrô giây. Đó chính là pulsar Con cua, một sao nơtron có bán kính 10km, quay quanh mình 30 vòng trong một giây, tựa như một con quay khổng lồ. Ngôi sao này sáng rồi tắt (từ đó mà nó còn có tên là pulsar), bởi vì sao nơtron không phát xạ trên toàn bề mặt của nó, mà chỉ thành hai chùm tia mảnh quét qua quét lại trên bầu trời trong quá trình quay tít mù của nó trong không gian. Mỗi một lần, một trong hai chùm sáng đó quét qua Trái đất, ngôi sao dường như lại bật sáng (hình trái) và nó dường như lại tắt khi chùm sáng không còn cắt ngang Trái đất nữa (hình phải). (*Ảnh NASA*)

Bởi vì các ngôi sao có khối lượng nhỏ hơn 3 lần khối lượng Mặt trời không đem lại điều gì cho sự tìm kiếm các lỗ đen, chúng ta phải tìm đến các ngôi sao lớn hơn nữa. Lần này thì chúng ta mới đi đúng hướng. Các ngôi sao này quá lớn và không gì có thể ngăn cản nổi sự tự co lại của chúng, kể cả sự chống lại của các electron cũng như của các nơtron. Xác chết do các ngôi sao khổng lồ này để lại sau quá trình tự co lại không phải là những "sao lùn trắng", cũng không phải là sao nơtron, mà đích thực chúng là các lỗ đen.

Tập bản đồ các lỗ đen

Để khám phá ra thế giới kỳ diệu và hư ảo của các lỗ đen, chúng ta hãy một lần nữa đi theo Jules trong một cuộc du hành khác. Anh ta được tờ nhật báo *Vũ trụ* và Hiệp hội những nhà thám hiểm Pháp trao cho nhiệm vụ viết một thiên phóng sự về các "ngôi sao kín mít". Jim, bạn của anh ta vẫn ở dưới mặt đất, để giúp liên lạc với Trái đất. Để giữ mối liên lạc thường xuyên, Jules mang theo lên con tàu vũ trụ một máy camera. Máy này sẽ liên tục chuyển các hình ảnh kèm âm thanh cho Jim trong suốt cuộc du hành. Jim cũng làm như vậy. Anh cung cấp liên tục những thông tin từ Trái đất cho Jules bằng một camera đặt tại phòng khách nhà mình.

Trước hết, Jules phải quyết định mình sẽ đi tới đâu. Anh ta bèn tra cứu tập bản đồ các lỗ đen do Hiệp hội quốc tế các nhà thiên văn lập ra. Lỗ đen lý thú nhất và cũng thuộc số gần nhất là lỗ đen Nhân mã (*Centaure*) ở cách Trái đất 8 năm ánh sáng. Đó là xác một ngôi sao đã chết trong cơn hấp hối bùng nổ khoảng 5000 năm trước, ngôi sao này có khối lượng lớn gấp 10 lần khối lượng Mặt trời. Jules tính ra rằng nếu đi với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng, anh ta sẽ phải mất 20 năm tính theo lịch Trái đất, kể cả đi lẫn

về. Như vậy, nếu anh ta khởi hành từ năm 2000 thì sẽ trở lại Trái đất vào năm 2020. Nhưng do sự tăng tốc và giảm tốc của tên lửa, anh ta chỉ mất 12 năm theo thời gian riêng của mình. Tấm lịch trên tàu sẽ ghi năm trở về của Jules là 2012. Một khoảng thời gian hợp lý trong thang tuổi thọ của con người.

Cũng có nhiều địa chỉ khác trong tập bản đồ các lỗ đen thu hút sự chú ý của Jules. Chẳng hạn như lỗ đen thuộc chòm sao Cung (*Sagitaire*) do các nhà thiên văn phát hiện ra ngay ở trung tâm của dải Ngân Hà chúng ta, cách Trái đất 30.000 năm ánh sáng. Lỗ đen này nặng hơn rất nhiều, nó có khối lượng bằng khối lượng của 3 triệu Mặt trời cộng lại. Người ta cho rằng đây là kết quả kết dính của hàng vạn lỗ đen và các lỗ đen này đều là xác chết của hàng chục ngàn ngôi sao khổng lồ khác mà ra. Jules yêu cầu máy tính của mình tính ra thời gian cần thiết để hoàn thành cuộc du hành cả đi lẫn về tới tâm thiên hà. Máy tính đã đưa ra những điều kiện cụ thể sau đây: trước hết phải đi với vận tốc cực lớn, càng gần vận tốc ánh sáng bao nhiêu càng tốt. Tiếp theo đó là sự tăng tốc hoặc giảm tốc của tên lửa, sao cho tạo ra được một trường hấp dẫn bên trong con tàu đúng bằng trọng trường Trái đất (người ta gọi đó là sự tăng hoặc giảm tốc 1g, với g là gia tốc trọng trường Trái đất). Chương trình cuộc du hành như sau: Jules sẽ đi với gia tốc 1g trong nửa chặng đường, rồi cho con tàu vũ trụ quay ngược 180^o và tiếp tục cuộc hành trình còn lại với sự giảm tốc bằng 1g cho đến khi gặp lỗ đen. Trong những điều kiện tạo ra được trọng lực Trái đất bên trong con tàu, Jules có cảm giác như mình chưa từng rời xa mặt đất. Điều đó làm cho cuộc du hành trở nên dễ chịu hơn rất nhiều. Máy tính sau một hồi tính toán và đưa ra câu trả lời: cần phải mất 30,002 năm theo lịch Trái đất cho lượt đi, và cũng với ngần ấy thời gian cho lượt về. Song vì Jules đi với vận tốc trung

bình bằng 99,99997% vận tốc ánh sáng, nên đối với anh ta cuộc du hành chỉ mất 20 năm.

Một lỗ đen khác mà Jules cũng chú ý tới là lỗ đen nằm giữa lòng của quasar 3C273, có khối lượng lớn hơn Mặt trời một tỷ lần. Lỗ đen này ở cách xa Trái đất khoảng 2 tỷ năm ánh sáng, tức là 1000 lần xa hơn thiên hà Andromede và nằm ngoài siêu đám thiên hà chứa dải Ngân Hà của chúng ta. Các quasar là một bộ phận trong số những thiên thể lạ lùng và kỳ diệu của vật lý thiên văn hiện đại. Chúng phát xạ một năng lượng cực lớn, tới mức chúng cũng sáng chẳng kém gì những ngôi sao ở gần, mặc dù chúng ở cách xa chúng ta hàng tỷ năm ánh sáng, gần như ở tận biên giới của phần vũ trụ mà ta có thể quan sát được. Do vậy mà các ngôi sao này có cái tên quasar (từ tiếng Anh viết tắt của *quasi-star*, có nghĩa là tựa sao). Năng lượng cực lớn này bằng năng lượng của cả một thiên hà chứa cỡ 100 tỷ Mặt trời và được phóng ra trong một thể tích chỉ lớn hơn thể tích của Hệ Mặt trời ít chút. Các nhà thiên văn học cho rằng cái năng lượng kỳ vĩ này của quasar bắt nguồn từ "thói phàm ăn" của một lỗ đen rất nặng nằm ở tâm một thiên hà. Bằng cách xé tan và nuốt ngấu nghiến các ngôi sao khốn khổ của một thiên hà khác đi qua bên cạnh, lỗ đen đã làm cho quasar sáng rực lên bằng tất cả những ngọn lửa của nó. Lấy trung bình quá trình tăng và giảm tốc độ nhằm tạo ra trường hấp dẫn trong con tàu giống như trọng trường Trái đất, máy tính đã đưa ra câu trả lời cho Jules rằng cần phải mất 2 tỷ năm Trái đất mới đi được đến đích. Song đối với thời gian riêng của chính mình, Jules chỉ mất 42 năm. Mặc dù các lỗ đen của chòm sao Cung và của quasar 3C273 có sức hấp dẫn ghê gớm đối với trí tưởng tượng của Jules, nhưng anh ta phải tính đến một điều hiển nhiên: nếu anh ta muốn gặp lại bạn mình, tức là Jim, còn sống khi trở về Trái đất, anh ta không thể thực hiện

một cuộc du hành cả đi lẫn về kéo dài tới 60.000 hoặc 4 tỷ năm Trái đất được. Trên Trái đất, đúng là Jim có thể làm chậm sự lão hóa sinh học bằng cách cho đóng băng thể xác của mình để đi vào một giấc ngủ đông kéo dài, song kỹ thuật này hiện chưa phải đã hoàn chỉnh. Vả chăng nếu anh ta có thể làm được việc đó đi nữa, thì ai sẽ là người chuyển bài phóng sự về cuộc phiêu lưu của Jules cho tờ *Vũ trụ*? Jim có thể dặn lại các con, các cháu, các chắt, các chút, các chít...của mình để làm tiếp công việc đó, nhưng liệu các hậu duệ của anh có tuân thủ thực hiện nghiêm chỉnh ý chí của anh hay không? Cuối cùng Jules quyết định: nơi đến của mình sẽ là lỗ đen thuộc chòm Nhân mã.

Một đĩa khí màu cầu vồng

Sau cuộc du hành giữa các vì sao kéo dài 6 năm theo lịch trên con tàu và 10 năm theo lịch Trái đất, lỗ đen thuộc chòm sao Nhân mã đã hiện ra. Qua cửa sổ của con tàu vũ trụ, Jules phát hiện ra một cảnh tượng tuyệt vời. Lỗ đen lộ ra bởi lực hấp dẫn mà nó tác động đến khí giữa các vì sao ở xung quanh. Khí giữa các vì sao này có khối lượng gồm 3/4 là khí hyđro và 1/4 là khí hêli. Nó được tạo ra từ mảnh vỡ của các lớp vỏ bọc bên ngoài của các ngôi sao chết, những mảnh này bị phóng vào môi trường giữa các vì sao trong quá trình hấp hối bùng nổ của các ngôi sao chết đó. Khí này không đặc lắm: nó chỉ có mật độ trung bình là một nguyên tử hyđro trong một xentimét khối, tức là nhỏ hơn cả chục tỷ tỷ lần mật độ của không khí mà chúng ta hít thở hằng ngày. Tuy nhiên, khi lan ra các hướng, khí này đặc dần và chuyển động ngày càng nhanh khi tiến gần tới lỗ đen. Chất khí này không rơi thẳng vào cái miệng há hốc của lỗ đen, mà nó quay cuồng theo hình xoắn ốc,

ngày càng xoắn chặt lấy nhau và bị cuốn bởi chuyển động quay rất nhanh của mình, trước khi lao vào miệng lỗ đen. Các lực ly tâm do chuyển động quay gây ra làm cho khối khí có dạng một chiếc đĩa dẹt, giống như một quả trứng rán ốp la mà lỗ đen nằm ở vùng lòng đỏ. Bởi vì lỗ đen làm kết tụ vật chất của đĩa khí, cho nên đĩa này cũng được gọi là "đĩa kết tụ".

Khi còn ở cách xa lỗ đen theo mức độ lực hấp dẫn và sức hút còn yếu, khối khí là vô định hình và rất lờ đờ; nhưng một khi ở mép lỗ đen, nơi có lực hấp dẫn và sức hút rất lớn, khối khí quay cuồng một cách dữ dội. Các nguyên tử khí va chạm nhau và nóng lên. Từ nhiệt độ khoảng - 260°C khi còn ở xa lỗ đen, nhiệt độ của khí tăng lên đến hàng triệu độ khi nó ở cạnh lỗ này. Do sự cách biệt rất lớn về nhiệt độ như vậy, đĩa khí phát ra những bức xạ nhiều sắc màu như kính vạn hoa. Ở xa lỗ đen về phía bờ ngoài của đĩa, ánh sáng phát ra bởi khí lạnh nên có bản chất là sóng vô tuyến. Rồi ánh sáng dần dần có năng lượng lớn hơn, nó chuyển qua sóng viba (sóng trong lò vi sóng nhà bạn), tia hồng ngoại, tia tử ngoại và tia X, cho đến tận tia gam-ma khi tiến gần tới lỗ đen. Đương nhiên, cặp mắt của Jules chỉ nhậy cảm với ánh sáng khả kiến mà mắt người có thể nhìn thấy được. Qua cửa sổ con tàu, anh ta nhìn thấy như có một vành sáng quanh lỗ đen với tất cả màu sắc cầu vồng rực rỡ, từ màu đỏ ở mép ngoài vành sáng đến màu tím ở mép trong của nó, với sự chuyển qua lần lượt các màu cam, vàng, lục, lam, và chàm. Để dò tìm các ánh sáng khác mà mắt thường không nhìn thấy, Jules phải sử dụng các dụng cụ tinh xảo mà con tàu đã được trang bị.

Ở trung tâm của đĩa khí ngự trị một vùng không phát ra một loại bức xạ nào. Đó là lỗ đen nổi tiếng mà Jules có nhiệm vụ tới để thám hiểm. Anh ta biết rằng lỗ đen có một mặt-chân-trời mà

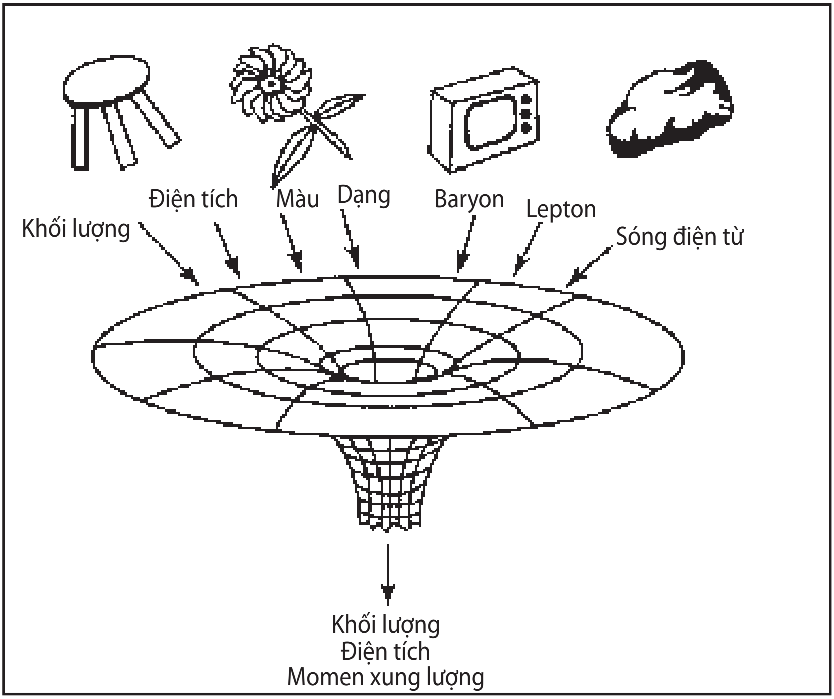
anh không nên phiêu lưu bước qua, nếu như không muốn mất mạng. Vượt qua ranh giới đó, lực hấp dẫn sẽ lớn tới mức không có một bức xạ hay vật chất nào có thể thoát được ra. Jules biết rằng ranh giới đó có bán kính khoảng 30km, vì rằng bán kính không thể quay lui đối với Mặt trời là 3km, mà khối lượng lỗ đen thuộc chòm sao Nhân mã lớn gấp 10 lần khối lượng Mặt trời, và bán kính không thể quay lui tỷ lệ thuận với khối lượng của lỗ đen.

Để có thể lặng lẽ khám phá những tính chất của lỗ đen, Jules quyết định đưa con tàu vụ trũ vào quỹ đạo tròn khá xa đường biên không thể quay lui. Anh ta chọn một quỹ đạo có bán kính 60.000km, ở rất xa bên ngoài cái khu vực định mệnh có bán kính 30km kia. Khi đã nhập vào quỹ đạo rồi, Jules cho tắt các động cơ của tên lửa để tiết kiệm nhiên liệu. Jules biết rằng lúc này không cần đến chúng nữa, bởi vì lực ly tâm do chuyển động tròn gây ra trực đối với lực hấp dẫn và giữ cho tên lửa đi theo quỹ đạo tròn, nằm ngoài tầm nanh vuốt của lỗ đen. Như vậy, tên lửa cứ 6 phút một lần lại quay hết một vòng dài 1 triệu kilômét.

Điểm kỳ dị cuối cùng

Jules bắt đầu suy nghĩ về những tính chất của lỗ đen để mô tả cho các bạn đọc đang nóng lòng chờ đợi trên Trái đất. Nhờ có sự hiểu biết về vật lý, anh hiểu rằng toàn bộ những đặc tính bề ngoài của lỗ đen, như cường độ lực hấp dẫn của nó, độ cong của không gian do nó gây ra, sự lệch hướng của quỹ đạo tia sáng, hình dáng và kích thước của mặt-chân-trời, tất cả đều phụ thuộc vào ba đại lượng sau đây: khối lượng của lỗ đen, chuyển động quay và điện tích của nó. Mọi thông tin khác có liên quan đến lỗ đen đều mất biến. Lỗ đen, một khi đã hình thành, sẽ không còn nhớ gì về tất cả

những thứ có thể liên quan đến vật đã sinh ra nó. Thành phần hóa học, mùi vị, hình dáng, kết cấu, màu sắc hoặc kích thước của vật đã sản sinh ra nó đã bị xoá sạch và vĩnh viễn biến mất. Như vậy lỗ đen là một nguồn làm mất thông tin trong Vũ trụ (H. 39).



Hình 39. *Lỗ đen là một nguồn làm mất thông tin*. Lỗ đen nhớ ba và chỉ có ba đại lượng của vật chất rơi vào nó: khối lượng, mô men xung lượng (hay spin) và điện tích. Một khi vật chất đã vượt qua bán kính không thể quay lui của lỗ đen thì tất cả những thông tin khác, như thành phần hóa học, mùi vị, màu sắc, hình dáng và kích thước v.v. đều biến mất hết. Thậm chí, nếu như một người quan sát có thể thâm nhập vào lỗ đen, sống sót và thực hiện được các phép đo, thì anh ta cũng không bao giờ có thể thông báo được những kết quả đo của mình cho thế giới bên ngoài.

Giả sử rằng có một bàn tay khổng lồ nào đó bóp bạn nhỏ lại, nhỏ đến mức bạn biến thành một lỗ đen. Cũng giả sử rằng một số phận như thế đã xảy ra với người bạn của bạn, người cùng một khối lượng như bạn. Hai lỗ đen hình thành từ hai người khác nhau, nhìn bên ngoài là hoàn toàn giống nhau. Chúng có cùng khối lượng, cùng không có chuyển động quay (bởi vì trước cuộc phiêu lưu tai hại này, cả bạn và bạn của bạn đều không quay) và cùng có điện tích bằng không (bởi vì các điện tích âm và dương trong hai cơ thể đã bù trừ nhau vừa hết). Người quan sát chiêm ngưỡng hai lỗ đen này từ bên ngoài rất khó có thể phân biệt ai là người đã sinh ra lỗ đen này hay lỗ đen kia. Những thông tin về giới tính, về chủng tộc, về màu tóc, màu mắt, về tầm vóc, quần áo, hình dáng của bạn, tất cả đều bị xóa sạch ngay khi bạn trở thành lỗ đen.

Jules đã biết khối lượng của lỗ đen: nó lớn gấp 10 lần khối lượng của Mặt trời. Điện tích của nó bằng không, bởi vì nếu lỗ đen có điện tích âm hoặc dương, nó sẽ hút các hạt của khí trong môi trường giữa các vì sao có điện tích ngược dấu, làm trung hòa điện tích riêng của nó. Còn về chuyển động quay của lỗ đen, Jules đã có thể xác định được khi chăm chú quan sát những cơn lốc xoáy điên cuồng của khí giữa các vì sao rơi vào miệng các lỗ đen theo hình xoáy trôn ốc, do bị hút bởi lực hấp dẫn của nó. Mặt khác, Jules cũng chờ đợi rằng lỗ đen có một chuyển động quay rất mạnh, bởi vì ngôi sao sản sinh ra nó đã từng quay rất nhanh quanh mình. Trong quá trình tự co lại, xác ngôi sao nói trên có thể còn quay một cách điên cuồng hơn nhiều, giống như nghệ sĩ trượt băng sẽ quay nhanh hơn nhiều, nếu anh ta duỗi thẳng hai tay và áp chặt vào thân mình. Tốc độ quay tăng tỷ lệ nghịch với bình phương bán kính của ngôi sao đang co lại. Do chuyển động quay này, mặt-chân-trời không hoàn toàn là một mặt cầu, mà hơi dẹt ở hai cực và hơi phình ra ở xích

đạo, giống như Trái đất. Sở dĩ như vậy là vì trong cả hai trường hợp, lực ly tâm đều được tạo ra bởi chuyển động quay.

Jules làm nhanh một con tính: nếu khối lượng của 10 Mặt trời được phân bố đều bên trong một thể tích gần như hình cầu có bán kính 30km, thì mật độ vật chất sẽ xấp xỉ 2×10^{14} gam trên một xentimét khối, tức là 200.000 tỷ lần lớn hơn khối lượng riêng của nước. Song Jules biết rằng vật chất bên trong một lỗ đen không thể được phân bố đều. Thuyết tương đối chỉ rõ rằng toàn bộ vật chất đó phải tập trung vào một vùng cực nhỏ của không gian, chỉ có kích thước bằng 10^{-33}cm, tức là 10 triệu tỷ tỷ lần nhỏ hơn kích thước một nguyên tử. Các nhà vật lý gọi vùng cực nhỏ ấy là một "điểm kỳ dị"[1]. Ngoại trừ làn sóng mỏng mảnh của khí giữa các vì sao rót vào lỗ đen, còn toàn bộ là chân không, một chân không trải từ mặt-chân-trời đến điểm kỳ dị.

Lỗ đen làm cho thời gian dừng lại

Để cho con tàu tự nó lặng lẽ đi theo quỹ đạo cách lỗ đen hàng chục nghìn cây số, cách xa nanh vuốt của nó, Jules chuyển sang một phi thuyền nhỏ để đi quan sát mặt-chân-trời. Anh quá biết rằng làm việc này phải hết sức thận trọng. Chỉ cần một động tác sai lầm là sẽ rơi vào cái miệng há hốc của lỗ đen. Anh hy vọng có thể đến gần mặt-chân-trời theo đường xoắn ốc, bằng cách điều chỉnh quỹ đạo của phi thuyền sao cho bán kính của nó ngày càng nhỏ dần. Để làm việc đó, Jules thực hiện một loạt những cú hãm nhỏ: cú hãm đầu tiên hơi làm chậm một chút chuyển động trên quỹ đạo ban đầu (chuyển động mà phi thuyền nhỏ đã chia sẻ cùng

1. Xem Kip Thorne, *Trous noirs et distorsions du temps*, Flammarion, Paris, 1997

với con tàu mẹ) và điều này cho phép phi thuyền hạ xuống một quỹ đạo tròn gần lỗ đen hơn. Tiếp đó là một cú hãm nhẹ nữa để quỹ đạo nhỏ lại hơn nữa và cứ tiếp tục như thế...

Trong khi hạ dần tới chân trời của lỗ đen, Jules vẫn giữ mối liên lạc với anh bạn Jim trên mặt đất. Ban đầu, khi còn ở xa lỗ đen, mọi chuyện vẫn bình thường. Thời gian của hai người bạn vẫn trôi với cùng một nhịp độ. Jim có thể tin chắc vào điều đó khi xem các hình ảnh chiếc đồng hồ bên trong buồng du hành của Jules được truyền hình về. Nhưng khi Jules càng đến gần lỗ đen, các sóng vô tuyến do anh gửi về cho Jim ngày càng khó thoát khỏi không gian bị uốn cong bởi lực hấp dẫn của lỗ đen. Sóng vô tuyến cũng ngày càng mất dần năng lượng để thoát khỏi vòng xiết của lỗ đen này. Những hình ảnh do Jules gửi về Trái đất ngày càng thưa thớt và sự đổi hình ảnh trên màn hình TV của Jim ngày càng chậm chạp. Jim có cảm tưởng như thời gian của Jules ngày càng chậm lại. Để cạo râu, Jules phải mất 1 phút, rồi 1 giờ, rồi 1 ngày, rồi 1 năm theo lịch Trái đất. Jules vẫn giữ được dáng vẻ trẻ trung với bộ tóc đen nháy, da mặt nhẵn nhụi, trong khi tuổi già tàn phá đã khiến cho bộ tóc của Jim bạc trắng cùng với những nếp nhăn hằn trên khuôn mặt. Đối với Jim, tất cả những gì xảy ra với Jules đều tiến triển chậm như rùa. Ngay cả những quá trình diễn ra trong não cũng chậm rãi bước một: để ra một quyết định dù là nhỏ nhất, Jules cũng cần một thời gian gần như vô tận.

Jules không thấy có gì mâu thuẫn với bạn mình. Theo đánh giá của mình, anh thấy thời gian của Jim đi quá nhanh so với thời gian trên con tàu. Những hình ảnh truyền hình do Jim gửi từ Trái đất, bị chộp bởi lực hấp dẫn quá lớn của lỗ đen, nên đến phi thuyền ngày càng nhanh và hiển thị nhoang nhoáng trên màn hình. Trong lúc Jules chỉ mới già đi vài ngày khi đi xuống gần chân trời lỗ đen,

thì anh ta đã thấy vun vút trên màn hình hình ảnh Jim mừng sinh nhật 40, 50, rồi 60, 70 tuổi... Buồn bã và tim hơi se lại, Jules nhận thấy một anh chàng Jim ngày càng kém linh hoạt và có nhiều vấn đề về sức khỏe. Nếu như thời gian trôi đối với Jim nhanh hơn đối với Jules, thì đó là vì tình trạng bất đối xứng giữa hai người bạn: bản thân Jules là người phải chịu đựng những hiệu ứng hấp dẫn rất khó chịu của lỗ đen, trong khi trên Trái đất, Jim hoàn toàn không hề hay biết gì về các hiệu ứng đó.

Thời gian trôi chậm lại của Jules còn có một hậu quả khác: trong quá trình tiến gần đến lỗ đen, tiếng nói của anh ta truyền về cho Jim cũng bị kéo dài ra, giọng nói trầm hơn và quánh lại giống như tiếng nói mà bạn nghe thấy trong rạp chiếu bóng khi phim bị đứt hoặc máy chiếu bị dừng vậy. Về phần mình, Jules chẳng thấy có điều gì lạ cả. Theo anh ta mọi việc đều diễn ra bình thường. Anh ta vẫn già đi với nhịp độ như trước, các quá trình hoạt động của não vẫn luôn luôn nhanh nhạy, tiếng nói vẫn mang âm sắc như thế. Trái lại, theo Jules, chỉ có tiếng nói của Jim là hoàn toàn biến dạng, nó ngày càng the thé nghe rất chói tai. Những từ ngữ dồn dập ào tới, với tốc độ ngày càng nhanh và trở nên không thể hiểu nổi, giống như âm thanh của một băng từ đang cho tua nhanh vậy.

Các lực thủy triều kéo cho cơ thể dài ra

Jules già đi chậm hơn nhưng cơ thể của anh ta phải trả giá cho tuổi trẻ kéo dài này. Thực ra, những hiệu ứng hấp dẫn do lỗ đen tác dụng lên cơ thể của anh ta không phải là chuyện đùa. Thậm chí chúng còn cực kỳ đau đớn nữa là khác. Trong khi hạ dần xuống gần chân trời của lỗ đen, Jules cảm thấy các lực đồng thời kéo đầu và chân anh ta mỗi lúc một mạnh hơn. Đôi chân anh ta ở phía

dưới gần với tâm của lỗ đen hơn là đầu 1,75m (Jules cao 1,75m), nên bị kéo mạnh hơn về phía "điểm kỳ dị". Sự chênh lệch của hai lực hấp dẫn tác dụng lên đầu và chân của Jules được gọi là "lực thủy triều". Nó được gọi như thế là bởi vì cũng chính do sự chênh lệch giữa hai lực hấp dẫn tác động bởi Mặt trăng, một tác dụng lên nước của các đại dương và một tác dụng đến tâm của Trái đất, mà gây ra hiện tượng thủy triều. Sống trên Trái đất, bạn cũng chịu tác dụng của các lực thủy triều do Trái đất tạo ra: vì đôi chân của bạn ở gần tâm của Trái đất hơn, nên nó bị lực hấp dẫn của Trái đất kéo mạnh hơn là đầu. Song, trên mặt đất bạn không cảm thấy mình bị kéo căng ra, bởi vì sự chênh lệch giữa hai lực hấp dẫn tác dụng lên đầu và lên chân của bạn chỉ nhỏ hơn một phần triệu.

Đối với Jules, tình hình hoàn toàn khác, khi anh ta đến gần mặt-chân-trời của lỗ đen. Sự chênh lệch của hai lực tác dụng lên đầu và chân anh ta không ngừng tăng lên. Các lực thủy triều của lỗ đen những muốn kéo dài anh ta ra như một sợi mì, và xương cốt của anh mỗi lúc một đau đớn ghê gớm. Cách mặt-chân-trời của lỗ đen 13.000km, Jules cảm nhận được lực thủy triều tương ứng với ¼ lực hấp dẫn của Trái đất; ở cách xa khoảng 8.000km, lực này tương ứng với 1g; và ở cách xa 3.000km, lực này tương ứng với 15g. Jules cố hết sức gập người lại, áp hai đầu gối vào ngực và đầu vào giữa hai đùi để làm cho cơ thể càng ngắn lại càng tốt, nhằm làm cho lực thủy triều tác dụng ít hơn (lý tưởng nhất là nếu chân và đầu anh ta hòa với nhau thành một điểm trong không gian và chiều dài có thể coi bằng không, thì lực thủy triều sẽ không còn nữa). Nhưng cố gắng đó cũng chỉ vô ích. Các lực thủy triều mạnh đến mức chúng có thể buộc đôi chân tội nghiệp của Jules phải duỗi ra, để chúng tiếp tục kéo giãn cơ thể của anh ta. Jules chịu đau cho đến lúc không thể chịu được nữa. Anh quyết định quay trở lại. Không còn

hy vọng gì đi tới được vùng chân trời của lỗ đen, nếu như không muốn cơ thể bị xé tan. Jules cho khởi động động cơ và điều khiển phi thuyền đi theo quỹ đạo hình xoáy ốc với bán kính mỗi lúc một lớn dần, để trở về con tàu vũ trụ của mình.

Các thấu kính hấp dẫn

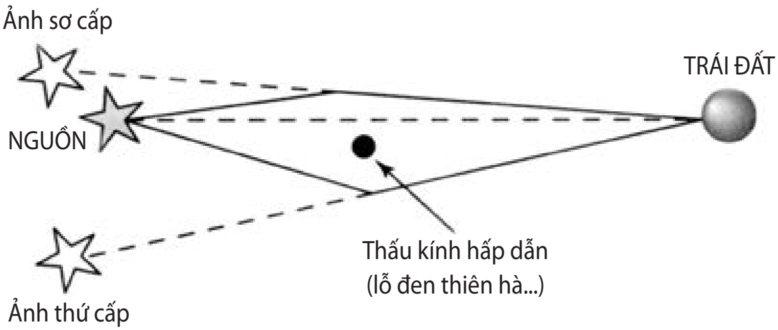
Jules đành phải quay trở về, vì cơ thể của anh không thể chịu đựng nổi các lực thủy triều của lỗ đen được nữa. Chúng ta đã thất bại, vì hoàn toàn không biết được những gì đang xảy ra ở phía bên kia chân trời của lỗ đen. Mà chúng ta thì lại muốn biết kết cục cuộc thám hiểm sẽ ra sao. Chính vì vậy, để thỏa mãn sự tò mò của mình, chúng ta hãy đóng vai một đấng toàn năng để ban cho Jules cái khả năng siêu phàm là kháng cự được các lực thủy triều cực mạnh của lỗ đen, cho đến khi anh ta tới được đích của mình là "điểm kỳ dị" tối hậu.

Và thế là Jules lại tiếp tục cuộc du hành của mình theo đường xoáy trôn ốc đến mặt-chân trời của lỗ đen. Anh cũng không để lỡ cơ hội ngắm nhìn thỏa thuê cảnh tượng tuyệt vời của bầu trời đầy sao bao quanh mình. Chỉ có một phần nhỏ của bầu trời bị che khuất bởi cái đĩa tối đen của lỗ đen ở phía dưới anh ta. Trên nền trời đen như mực, lấp lánh vô vàn những điểm sáng, đó là các ngôi sao thuộc dải Ngân Hà trong toàn bộ vẻ đẹp lộng lẫy của chúng. Bằng một kính thiên văn trên tàu, Jules còn có thể ngắm nhìn những thiên thể mờ hơn, kém sáng hơn. Chúng thuộc những thiên hà giống như dải Ngân Hà của chúng ta, tức là những tập hợp gồm hàng trăm tỷ các ngôi sao liên kết với nhau bằng lực hấp dẫn, trong số hàng trăm tỷ các tập hợp tương tự khác đang tồn tại trong vũ trụ quan sát được. Thoạt đầu, lỗ đen dường như che

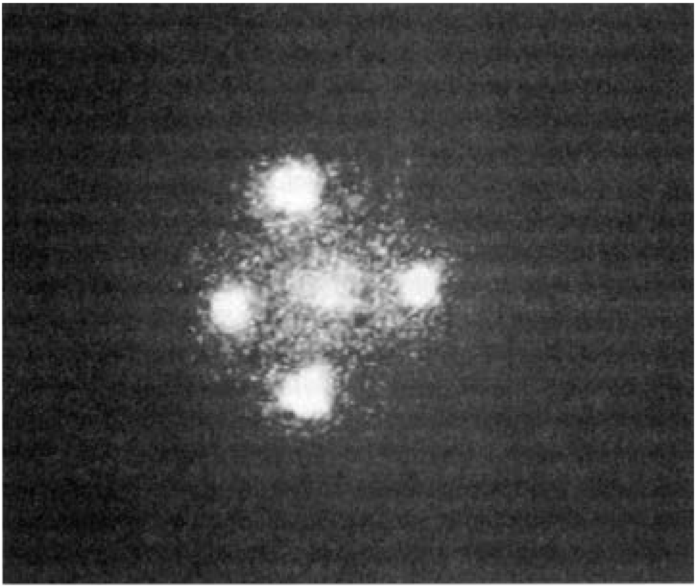
khuất tất cả các ngôi sao và các thiên hà ở phía sau nó. Sẽ đúng là như vậy, nếu ánh sáng truyền theo đường thẳng. Nhưng thực tế nó lại không như thế. Trường hấp dẫn của lỗ đen lại có tác dụng giống như một loại thấu kính làm lệch quỹ đạo của ánh sáng. Ánh sáng đi vòng qua chân trời của lỗ đen để rồi quy tụ trở lại ở phía bên kia của đĩa lỗ đen và tạo thành một vành mảnh xung quanh đĩa đó. Như vậy, lỗ đen có tác dụng giống như các mắt kính làm lệch hướng truyền của ánh sáng để chữa tật cận thị cho bạn. Trong trường hợp này, thấu kính không phải làm bằng thủy tinh mà bằng không gian biến dạng và bị uốn cong bởi lực hấp dẫn của lỗ đen. Vì vậy người ta gọi nó là "thấu kính hấp dẫn" (H. 40). Trong vành sáng bao quanh lỗ đen, Jules có thể nhìn thấy nhiều hình ảnh của một ngôi sao bị che khuất bởi lỗ đen: hình thứ nhất do ánh sáng bị lệch về bên phải lỗ đen, hình thứ hai do ánh sáng bị lệch về phía trái, hình thứ ba do ánh sáng đã đi một vòng quanh lỗ đen v.v... Ánh sáng của mỗi ngôi sao đã mượn nhiều con đường để đi qua trường hấp dẫn của lỗ đen và điều này đã làm nhân lên nhiều hình ảnh của nó. Jules không nhìn thấy ngôi sao thực bị che khuất mà chỉ thấy rất nhiều các ảo ảnh của nó mà thôi.

Ngay từ năm 1936, Einstein đã từng báo trước hiện tượng thấu kính hấp dẫn. Đây là một trong số rất nhiều những phân nhánh bất ngờ của thuyết tương đối rộng. Như bất kì một lý thuyết khoa học tầm cỡ nào, thuyết tương đối cũng là một kho báu huyền diệu và không bao giờ cạn, nó không ngừng đem lại cho các nhà vật lý những của cải bất ngờ. Einstein đã tính được rằng nếu hai ngôi sao đứng thẳng hàng cùng với Trái đất, thì ngôi ở xa hơn, ngoài hình ảnh quen thuộc của nó ra còn có một hình ảnh khác, hình vành khăn bao quanh nó. Hình ảnh thứ hai này là ảo ảnh hấp dẫn gây bởi lực hấp dẫn của ngôi sao ở gần hơn. Einstein nghĩ rằng

sự xếp thẳng hàng này là không thể có và người ta sẽ không bao giờ bắt gặp những ảo ảnh vũ trụ trên bầu trời. Nhưng lại một lần nữa, Einstein đã vượt lên quá xa trước thời đại mình. Phải đợi đến năm 1979, thấu kính hấp dẫn lần đầu tiên mới được phát hiện. Nhưng sự phân vai của vở kịch đã thay đổi rất nhiều so với buổi đầu do Einstein dự kiến. Ngôi sao ở xa được thay thế bằng một quasar, một trong những thiên thể phát ra năng lượng cực lớn, khiến cho nó sáng như một ngôi sao ở gần vậy, mặc dù nó ở mãi tận biên của vũ trụ quan sát được. Ngôi sao ở gần đóng vai trò của thấu kính hấp dẫn bây giờ được thay thế bằng một thiên hà. Ánh sáng từ quasar xa xôi bị trường hấp dẫn của thiên hà làm cho lệch hướng. Nó phải mượn hai đường để đi vòng qua thiên hà, một bên trái, một bên phải, và như vậy nó đã tạo ra hai hình ảnh hoàn toàn giống nhau ở hai bên của thiên hà đó. Chính sự gần kề và hoàn toàn giống nhau của hai hình ảnh quasar này đã làm cho các nhà thiên văn phải mất ăn mất ngủ. Một sự giống nhau như thế không thể là ngẫu nhiên, mà phải là do sự nhân đôi của cùng một vật thể.



a



b



c

Hình 40. (a) *Một thấu kính hấp dẫn*. Một lỗ đen, một ngôi sao, một thiên hà hay một đám thiên hà, nhờ khối lượng của chúng, đều tác dụng một trường hấp dẫn làm uốn cong không gian. Ánh sáng do các thiên thể ở xa phát ra, khi đi qua không gian cong này, đều bị lệch hướng. Những thiên thể tạo ra trường hấp dẫn làm lệch hướng các tia sáng được gọi là các "thấu kính hấp dẫn", vì chúng có tác dụng giống như cặp kính mắt làm lệch đường đi của các tia sáng để sửa tật cận thị của chúng ta. Ánh sáng bị lệch như vậy có thể tạo ra các ảo ảnh hấp dẫn tựa như không khí nóng ở sa mạc làm lệch hướng các tia sáng đã tạo ra những ảo ảnh, lừa dối những lữ khách

đang cháy họng vì khát. Tùy theo mức độ thẳng hàng tương ứng của thiên thể ở xa, thấu kính hấp dẫn và Trái đất, mà ảnh của thiên thể ở xa được nhân đôi, nhân ba hay thậm chí nhân bốn hoặc biến dạng thành các cung tròn.

(b) *Dấu chữ thập Einstein*. Bức ảnh, do kính thiên văn không gian Hubble chụp, cho thấy sự nhân ra nhiều ảnh của một quasar ở rất xa, nằm theo hướng chòm sao Pegasus (Phi Mã). Quasar này ở cách Trái đất 8 tỷ năm ánh sáng và được nhân ra làm bốn ảnh, tạo nên dạng chữ thập mà người ta đặt tên là chữ thập Einstein, để tôn vinh người đầu tiên đã mô tả hiện tượng ảo ảnh hấp dẫn này. Thiên hà tạo ra sự nhân ảnh này nằm thẳng hàng với quasar và Trái đất, nhưng nó ở gần hơn rất nhiều, chỉ cách chúng ta 400 triệu năm ánh sáng. Người ta nhìn thấy ảnh mờ của nó ở tâm hình chữ thập trên ảnh.

(c) *Các cung tròn bao quanh một đám thiên hà*. Trong bức ảnh chụp bởi kính thiên văn không gian Hubble này, người ta thấy đám thiên hà Abell 2218 (những ảnh mờ trên hình, mỗi ảnh biểu diễn một thiên hà, tức là tập hợp hàng trăm tỷ ngôi sao liên kết với nhau bởi lực hấp dẫn) đóng vai trò thấu kính hấp dẫn. Nó trải ánh sáng từ một thiên hà xa hơn, ở phía sau đám thiên hà, thành những cung tròn. Có thể nhìn thấy những cung tròn này xung quanh một thiên hà lớn hình elip ở bên phải bức ảnh. Xuất phát từ số lượng, hình dáng và vị trí của các cung tròn sáng đó, các nhà thiên văn có thể suy ra lượng toàn phần vật chất, thấy được cũng như không thấy được, chứa trong đám thiên hà đó. (*Ảnh NASA*)

Từ đó, cuộc săn tìm các thấu kính hấp dẫn đã không ngừng diễn ra. Các nhà đi săn đã không trở về tay trắng. Đã có chừng hai tá thấu kính được phát hiện. Các thiên hà không phải là những thiên thể duy nhất đóng vai trò thấu kính hấp dẫn. Những đám thiên hà, tức là những tập hợp của hàng nghìn thiên hà, được liên kết với nhau bởi lực hấp dẫn, cũng đã nhập cuộc. Người ta đã nhìn thấy những hình ảnh của một vài thiên hà hay quasar xa xôi, đã được nhân thành hai, thành ba, thành bốn... Nếu sự xếp thẳng hàng của vật thể ở xa, thấu kính và Trái đất là hoàn hảo, thì các hình ảnh có dạng một hình vành khăn, đúng như Einstein đã dự kiến. Chỉ một xê dịch nhỏ ra khỏi sự thẳng hàng, hình vành khăn sẽ vỡ ra thành nhiều cung sáng (H. 40c).

Các nhà thiên văn học vẫn tiếp tục hăm hở nghiên cứu những thấu kính hấp dẫn, vì họ nghĩ rằng các thấu kính này có thể giúp chúng ta giải quyết một trong những bí mật lớn nhất của vật lý thiên văn đương đại: đó là bí mật của các khối lượng không nhìn thấy được (còn gọi là vật chất tối) trong vũ trụ. Thực tế, chúng ta đang sống trong một vũ trụ tựa như một tảng băng trôi. Hơn 90% vật chất trong vũ trụ đó không phát ra một loại bức xạ nào, chúng tựa như phần chìm của tảng băng vậy. Song, có một sự khác biệt căn bản giữa tảng băng trôi và vũ trụ: chúng ta biết rằng khối lượng chìm của tảng băng cũng hoàn toàn chỉ là băng mà thôi, trong khi đó, số lượng và bản chất của khối lượng không nhìn thấy được của vũ trụ lại vẫn còn là một câu đố hiểm hóc đối với trí tuệ loài người. Không làm sáng tỏ được vấn đề này thì các nhà thiên văn học đúng là bị chìm ngập trong bóng tối. Họ biết rằng một thấu kính hấp dẫn tạo ra được các ảo ảnh vũ trụ là nhờ có trường hấp dẫn của nó. Đến lượt mình, trường này lại phụ thuộc vào khối lượng toàn phần, cả nhìn thấy được và không nhìn thấy được, của thiên hà hoặc của đám thiên hà đóng vai trò thấu kính. Do đó, các ảo ảnh hấp dẫn có thể giúp ta phát hiện ra những khối lượng không nhìn thấy.

Đường hầm của lỗ đen

Jules vẫn tiếp tục theo đường xoắn ốc hạ dần xuống mặt cầu-chân-trời của lỗ đen. Và anh ta cũng không bỏ lỡ dịp ngắm nhìn thỏa thuê vẻ đẹp rực rỡ của bầu trời sao. Ở cách xa lỗ đen, đĩa khí bao quanh nó tạo thành một cái sàn đen ngay phía dưới con tàu, nhưng bầu trời ở phía trên thì hoàn toàn quang đãng và lấp lánh các vì sao. Càng đến gần lỗ đen, màn đen - lúc đầu chỉ bao quanh đĩa khí - dần dần bao trùm toàn bộ không gian xung quanh phi

thuyền. Dường như bóng tối đã nhốt kín Jules lại. Bầu trời sao chỉ còn được nhìn thấy qua lỗ cửa sổ nhỏ ở trần phi thuyền. Anh ta có cảm giác như đang lao vào một đường hầm dài mà lối ra cứ thu hẹp dần. Nếu như bóng tối tung tấm màn nhung bao trùm lên Jules, thì trường hấp dẫn cực mạnh của lỗ đen lại hút và tập trung tất cả những tia sáng tới từ vũ trụ bên ngoài thành một chùm sáng mỏng hội tụ phía trên phi thuyền. Thay vì đi theo quỹ đạo nằm ngang hoặc xiên góc, các tia sáng đã bị lực hấp dẫn buộc phải đi theo một đường thẳng đứng. Ánh sáng nhìn thấy được biến thành những tia X. Và bây giờ Jules không còn được chiêm ngưỡng những ngôi sao yêu thích nữa, nhưng vẫn có thể phát hiện được chúng dễ dàng bằng kính thiên văn tia X đặt ngay trên phi thuyền.

Lỗ đen và sự cáo chung của thời gian

Trong khi Jules tiếp tục hạ dần xuống chân trời của lỗ đen, thì Jim nhìn thấy thời gian của bạn mình dần dần chậm lại. Con tàu của Jules xuất hiện mỗi lúc một tối dần, vì các sóng ánh sáng chuyển hình ảnh của con tàu phải tiêu tốn và mất dần năng lượng để thoát khỏi vòng xiết hấp dẫn khủng khiếp của lỗ đen. Jules thử cải thiện tình hình bằng cách cho bật tất cả các đèn tín hiệu của con tàu lên, nhưng vô ích. Khi mất dần năng lượng, ánh sáng thấy được chuyển dần sang màu đỏ. Trên màn hình TV của Jim, tên lửa của Jules hiện lên không những ngày càng tối đi mà còn chuyển dần sang màu đỏ.

Lúc này Jules đã đi tới bề mặt không thể quay lui. Anh ta biết rõ rằng, nếu vượt qua mặt-chân-trời, anh ta sẽ không tránh khỏi bị rơi về phía "điểm kỳ dị". Cho dù động cơ của anh có mạnh đến đâu chăng nữa, anh cũng không bao giờ có thể quay trở về được.

Đó là con đường chỉ có một chiều. Nhưng Jules vốn là người có ý chí của một nhà thám hiểm đích thực, anh đã quyết định vượt qua mặt-chân-trời để khám phá những bí mật của lỗ đen, cho dù anh không bao giờ có thể thông báo các phát hiện của mình cho bất kỳ ai khác, bởi lẽ các sóng vô tuyến bị trường hấp dẫn của lỗ đen giam lại một cách không thương tiếc. Vì thế, ngay cả nếu Jules có thỏa mãn được nhu cầu hiểu biết của mình, thì lỗ đen vẫn mãi mãi giữ kín những bí mật của nó. Và điểm kỳ dị nằm ở đó cũng không bao giờ hé lộ để thỏa mãn sự tò mò của chúng ta. Như nhà toán học người Anh Roger Penrose (1931-) đã nhận xét: lỗ đen thực thi một kiểu "kiểm duyệt vũ trụ" đối với sự hiểu biết của chúng ta.

Trên mặt đất, Jim nhìn thấy hình ảnh của con tàu biến mất khỏi màn hình, khi nó tới chân trời của lỗ đen. Tất cả chỉ còn là bóng tối. Con tàu của Jules bị nuốt chửng trong đêm dài vô tận. Đối với Jim, thời gian của Jules đã dừng trôi. Không còn một hình ảnh mới nào hiển thị trên màn hình nữa. Jules phô ra vĩnh viễn cái vẻ mặt căng thẳng và nụ cười dúm dó, bộc lộ nỗi hoang mang sẽ biến mất mãi mãi trong cái miệng toang hoác của lỗ đen. Về phía mình, Jules nhìn thấy các sự kiện diễn biến một cách hoàn toàn khác. Đối với anh ta, thời gian được đo bằng chiếc đồng hồ trên con tàu vẫn chạy đều đặn như bình thường. Và con tàu vũ trụ của anh, thay vì vĩnh viễn đứng chết cứng ở mặt-chân-trời như Jim nghĩ, đã vượt qua mặt đó của lỗ đen. Thực tế là ở khoảng cách bằng 1,5 lần bán kính của mặt-cầu-chân-trời, con tàu đã không thể đi theo quỹ đạo tròn ổn định được nữa, cho dù Jules đã cố gắng một cách dũng cảm để chèo lái con tàu. Lực hấp dẫn ở đây mạnh tới mức không một lực ly tâm nào có thể đương đầu nổi với nó. Jules đã thử mọi cách để tăng công suất của các động cơ, làm cho con tàu đi nhanh hơn và do đó tăng thêm lực ly tâm của phi thuyền. Nhưng vô ích. Cho dù con tàu

vũ trụ có bay quanh lỗ đen với vận tốc ánh sáng đi nữa (điều mà không bao giờ có thể có được, bởi vì như vậy sẽ phải cần đến một khối lượng nhiên liệu vô tận), thì lực hấp dẫn vẫn luôn luôn mạnh hơn. Và thế là Jules rơi tự do theo một đường thẳng về phía lỗ đen. Anh ta cố tìm cách hãm chuyển động rơi này lại, nhưng không thể làm gì được. Đó là vì tất cả mọi thứ, con tàu cũng như vật chất giữa các vì sao, đều rơi nhanh đến điểm kỳ dị tới mức chân không bên trong lỗ đen hầu như là chân không tuyệt đối.

Trong khi thâm nhập vào bên trong lỗ đen, Jules đã đi ra ngoài thời gian của vũ trụ bên ngoài. Nếu có thể cho dừng con tàu vũ trụ ở mặt-chân-trời của lỗ đen, anh ta đã có thể nhìn thấy thiên thu lướt qua mắt mình chưa đầy một phần triệu giây theo đồng hồ trên phi thuyền: cái chết của Jim, cái chết của các con anh, của các cháu chắt anh và của tất cả các thế hệ sau anh. Mặt trời đốt hết nguồn dự trữ hyđro của nó và phình ra đến mức to gấp 100 lần kích thước hiện nay của nó. Thủy tinh và Kim tinh bay hơi trong lớp bao cháy bỏng của chúng. Sự bốc hơi của các đại dương trên Trái đất và những đám cháy rừng tàn phá bề mặt của nó. Cái chết của Mặt trời biến nó thành "sao lùn trắng", sự lạnh đi của "sao lùn trắng" biến nó thành "sao lùn đen", tất cả các ngôi sao trong vũ trụ đều tắt vì thiếu chất đốt, các thiên hà không lấp lánh nữa, đất của chúng chôn đầy xác các thiên thể (các lỗ đen, các sao nơtron, các "sao lùn đen") và một đêm đen dài bất tận bao trùm lên vũ trụ mỗi lúc một lạnh giá hơn[1]...

1. Điều mà tôi mô tả ở đây là tương lai của một vũ trụ mở, nó không chứa đựng đủ vật chất không nhìn thấy được khiến cho lực hấp dẫn chặn được chuyển động chạy ra xa nhau của các thiên hà. Trong vũ trụ này, sự giãn nở là mãi mãi. Tương lai của một vũ trụ đóng sẽ kết thúc sự tồn tại của nó trong một *Vụ co lớn* (Big Crunch) đã được mô tả trong tác phẩm *Giai điệu bí ẩn* của tôi. (*Giai điệu bí ẩn*, bản dịch của Phạm Văn Thiều, NXB Trẻ, 2012)

Trên thực tế, Jules sẽ không nhìn thấy thiên thu lướt qua trước mắt anh ta, vì lực hấp dẫn lớn đến mức con tàu vũ trụ không thể treo lơ lửng ở chân trời của lỗ đen được, cho dù anh ta có cho các động cơ chạy hết tốc lực của chúng. Do các thông tin từ Trái đất và các nơi khác phải mất thời gian mới đến được với Jules, nên anh ta đã rơi vào nanh vuốt của lỗ đen từ rất lâu trước khi các thông tin này tới được mặt-chân-trời của lỗ đen. Dù thế nào đi nữa, Jules cũng không bao giờ đi ra khỏi được lỗ đen, vì anh ta đã vượt ra ngoài thời gian của thế giới bên ngoài. Tái hòa nhập vào thế giới ấy tương đương với việc quay lại quá khứ, một điều mà vật lý học hiện nay không cho phép.

Tiến tới điểm kỳ dị

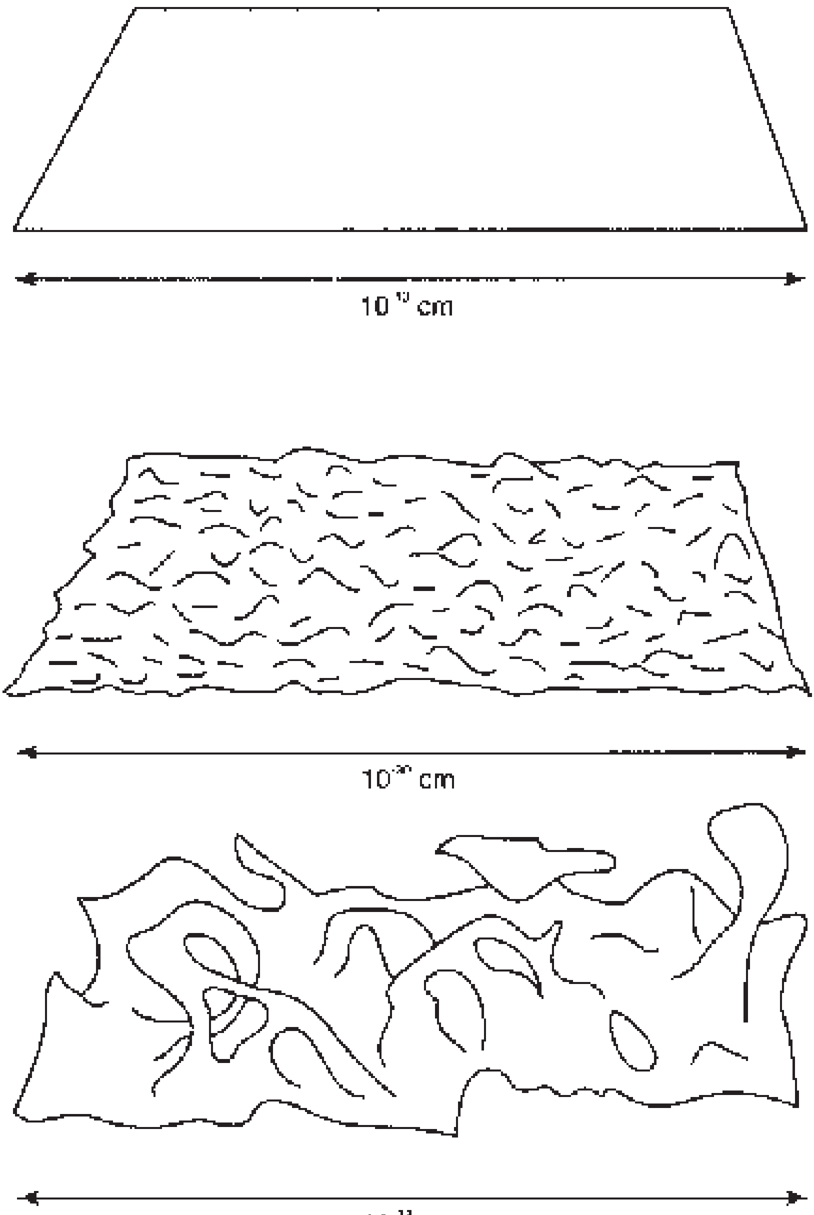
Ở gần điểm kỳ dị, cặp không-thời gian trở nên rối loạn ghê gớm. Cả hai đều dao động một cách hỗn độn, tạo ra các lực thủy triều còn hỗn độn hơn nữa, hoàn toàn giống như sự đu đưa rối loạn và vô trật tự của bọt sóng trên bề mặt đại dương trong cơn bão tố. Các lực thủy triều khoái chí đùa giỡn với cơ thể của anh chàng Jules khốn khổ. Chúng nhảy nhót theo một vũ điệu ma quái, kéo đầu anh ta theo trục bắc - nam, kéo chân phải theo trục đông - tây và kéo chân trái theo trục tây bắc - đông nam. Cứ như thể có hai bàn tay khổng lồ kéo giãn anh ta theo mọi hướng, với những tần số khác nhau. Nhưng cơ thể của Jules không phải là đất sét dẻo để có thể nhào nặn bừa bãi, sự đau đớn của anh đã lên đến cực điểm. Đã thế, sự kéo giật mỗi lúc một mạnh và nhanh hơn, cho đến khi chính các nguyên tử trong cơ thể nhà thám hiểm dũng cảm bị biến dạng tới mức không còn nhận ra nữa.

Sở dĩ các lực thủy triều mạnh đến như thế là bởi vì lỗ đen mà

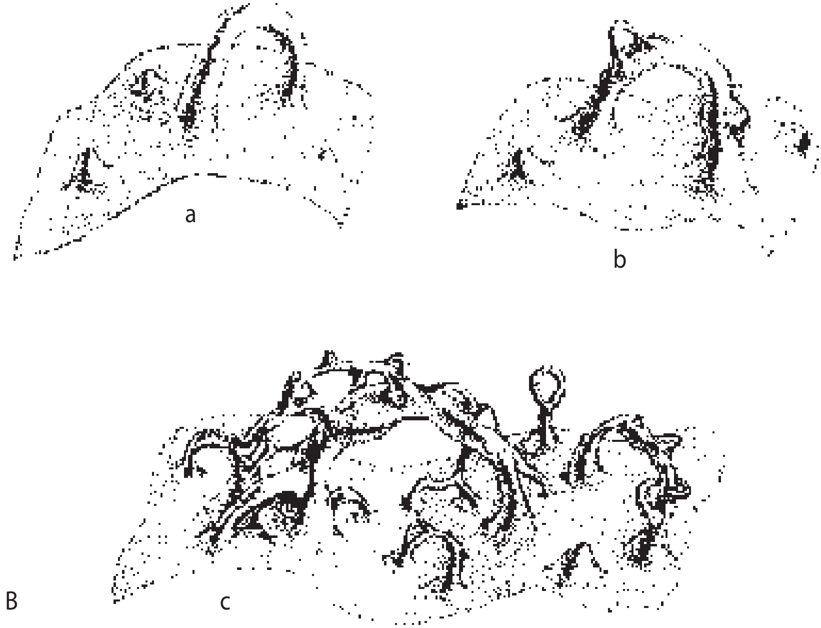
Jules rơi vào vừa mới ra đời. Nếu cứ để mặc cho các lực ấy tự tung tự tác thì, về nguyên tắc, chúng sẽ giảm dần về cường độ cho tới khi biến mất hoàn toàn[1]. Song, khí giữa các vì sao rơi vào miệng lỗ đen lại đem đến cho nó sinh khí, giống như một con thú hoang dã lấy lại sức lực khi nó được ăn thịt tươi vậy. Lấy lại được sinh khí, các lực thủy triều lại tiếp tục cắn xé và kéo giật. Chưa đầy một phần triệu giây sau khi Jules đạt tới "điểm kỳ dị", lực thủy triều ở chân, rồi ở ngực, cuối cùng ở đầu anh trở nên lớn vô hạn. Mặc dù có được những khả năng siêu phàm mà chúng ta đã ban tặng cho anh, nhưng lực điện từ vốn liên kết các nguyên tử của cơ thể anh ta, cũng không thể chống lại nổi lực thủy triều. Các electron, proton và nơtron, những viên gạch xây nên các nguyên tử cùng với các hạt quark, những viên gạch xây nên proton và nơtron, đều bị kéo giãn ra như những sợi mì dài. Cơ thể của Jules lúc đó vỡ tan thành nghìn mảnh. Và thế là hết.

Khi đã đạt tới điểm kỳ dị, cặp không gian-thời gian, như chúng ta đã biết, không tồn tại nữa. Không gian trở thành nhỏ hơn 10^{-33} cm và các sự kiện diễn ra trong khoảng thời gian dưới 10^{-43}giây. Các phương trình của Einstein cũng không còn đứng vững. Điểm kỳ dị được coi như bức tường của tri thức, hay còn được gọi là "bức tường Planck", mang tên nhà vật lý Đức, người đầu tiên đề cập tới vấn đề này. Để vượt qua bức tường Planck, phải thống nhất được thuyết tương đối, lý thuyết mô tả lực hấp dẫn, với cơ học lượng tử, lý thuyết mô tả thế giới của những cái vô cùng bé. Sự thống nhất hai lý thuyết trên sẽ cho ta một lý thuyết mới có tên là lý thuyết hấp dẫn lượng tử. Lý thuyết này mới đang còn ở thời kỳ phôi thai. Các nhà vật lý dũng cảm, những người đã từng đi

1. Xem Kip Thorne, *Trous noirs et distorsions*, sách đã dẫn.



A



Hình 41. *Bọt không gian.* (A) Ở thang cuộc sống hằng ngày của chúng ta, hình học của không gian có vẻ như là rất trơn tru. Nhưng nếu dùng một kính hiển vi có khả năng nhìn được ở các thang vô cùng bé như chiều dài Planck (10^{-33}cm), chúng ta sẽ nhìn thấy một loại bọt lượng tử của không gian, luôn luôn ở trạng thái chuyển động và biến đổi không ngừng. (B) Hình học và tôpô của không gian khi đó không còn được mô tả theo ngôn ngữ tất định được nữa, mà chỉ được mô tả thông qua các xác suất. Chẳng hạn, xác suất để không gian có cấu hình (a) là 0,2%, cấu hình (b) là 0,05% và cấu hình (c) là 0,9%.

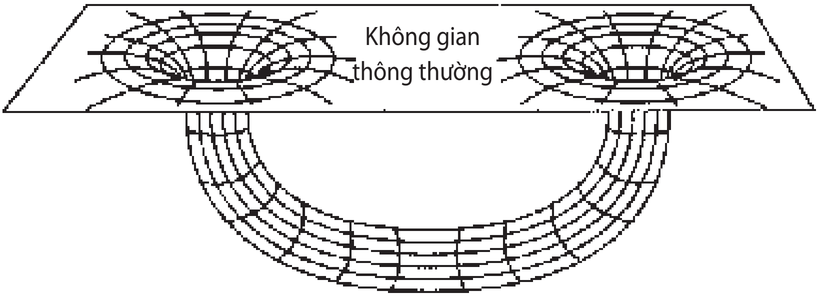
những bước đầu tiên vào lĩnh vực này, cho biết: tại điểm kỳ dị, cặp không-thời gian vốn gắn kết chặt chẽ với nhau trước kia, nay sẽ bị tan vỡ. Thời gian không còn tồn tại nữa. Chúng ta không còn nói được rằng một sự kiện đã xảy ra trước hoặc sau một sự kiện khác, vì những khái niệm như trước kia, hiện nay và sau đó đã mất hết ý nghĩa. Bị tách khỏi người bạn thời gian, không gian chỉ còn là

một thứ bọt không có hình thù xác định. Độ cong và tôpô của nó trở nên hỗn độn và chúng chỉ có thể được mô tả thông qua các xác suất (H. 41). Tất cả đều là ngẫu nhiên. Người ta không thể nói không gian đã ở dạng này hay khác bao nhiêu thời gian, bởi vì thời gian không còn tồn tại nữa. Các nhà vật lý thậm chí còn dự kiến rằng các hình thù ngẫu nhiên và biến động này của không gian tại điểm kỳ dị còn có thể sản sinh ra những vũ trụ mới, tức là những vùng mới của không-thời gian. Điều này có lẽ đã từng xảy ra cách đây 15 tỷ năm đối với chính vũ trụ của chúng ta. Song, tất cả các khái niệm đó hiện thời chỉ là những tư biện thuần túy. Hấp dẫn lượng tử hiện còn đang bị bao phủ trong lớp sương mù dày đặc, còn lâu mới có thể xua tan. Con đường đi đến một lý thuyết hấp dẫn lượng tử còn dài dằng dặc với biết bao trở ngại.

Những vũ trụ song song và các lỗ giun đào

Các nhà vật lý thậm chí còn đưa ra giả thuyết cho rằng điểm kỳ dị, có lẽ, chưa bao giờ hình thành trong lỗ đen cả. Sở dĩ vấn đề được đặt ra là bởi vì thuyết tương đối hoàn toàn mất chỗ đứng khi không gian trở nên nhỏ hơn 10^{-33}cm và như vậy nó không thể mô tả được những gì xảy ra từ đó trở đi. Nếu đúng là như vậy, thì cặp không gian-thời gian vẫn tiếp tục tồn tại và Jules có thể sẽ sống sót. Song anh ta không thể trở lại vũ trụ mà từ đó anh đã ra đi, vì anh đã vượt ra ngoài thời gian của vũ trụ này. Anh ta chỉ có thể xuất hiện trong một vũ trụ khác nối kết với vũ trụ chúng ta thông qua lỗ đen. Từ vũ trụ mới này, Jules lại có thể đi tìm một lỗ đen khác để đi tới một vũ trụ thứ ba và cứ như thế tiếp diễn. Bằng cách đó, anh ta có thể tới thăm một chuỗi vô tận những vũ trụ song song, nhưng không bao giờ có thể quay trở lại một vũ trụ mà anh đã từng khám phá. Kịch bản này hiện vẫn đang còn thuộc về lĩnh vực

khoa học viễn tưởng. Chưa có một lý do nào để tin rằng những vũ trụ song song là thực sự tồn tại và người ta có thể đến đó thông qua con đường lỗ đen mà lại không bị xé tan xác bởi các lực thủy triều.



Hình 42. *Một lỗ giun đào trong không-thời gian*. Toán học của thuyết tương đối rộng phong phú và phức tạp tới mức nó cho phép tồn tại những thực thể kỳ quặc nhất. Chẳng hạn, nó tiên đoán có tồn tại những lỗ giun đào trong không-thời gian. Mỗi lỗ giun đào này có một đầu vào và một đầu ra trong không gian của Vũ trụ chúng ta, nhưng "đường hầm" nối đầu vào và đầu ra đó lại nằm trong một không gian ở ngoài Vũ trụ chúng ta và không gian đó được gọi là "siêu không gian". Những lỗ giun đào có một tính chất kỳ lạ. Chúng có thể dùng để rút ngắn cuộc hành trình của chúng ta từ góc này đến góc khác của Vũ trụ hoặc thậm chí để đưa chúng ta vào một vũ trụ song song. Chúng thậm chí còn cho phép chúng ta đi ngược dòng thời gian. Chẳng hạn, một nhà du hành có thể đi vào lỗ giun đào vào lúc giữa trưa và đi ra ở đầu kia của nó vào lúc 10 giờ sáng, tức là hai giờ trước đó. Những chuyến du hành như thế về quá khứ sẽ vi phạm quan hệ nhân quả quá ư quen thuộc với chúng ta, bởi vì nhà du hành có thể trở về quá khứ để hủy bỏ sự ra đời của chính mình bằng cách ngăn trở cha mẹ của anh ta gặp nhau. Tự nhiên đã ngăn cản những điều vô lý đó bằng cách làm cho những lỗ giun đào không mở đủ lâu để cho nhà du hành nào đó có thể đi vào. Đường hầm sẽ đóng lại sau một thời gian vô cùng ngắn, cỡ 10^{-43} giây. Các nhà vật lý rất muốn tìm ra cơ chế vật lý có thể giữ cho các lỗ giun đào mở mãi mãi, nhưng cho đến nay chưa có kịch bản nào có đủ sức thuyết phục.

Những nhà vật lý thích mạo hiểm thậm chí còn đào sâu các phương trình của thuyết tương đối để thăm dò khả năng đi vào bằng một "điểm kỳ dị" ở một góc nào đó của Vũ trụ, để rồi sau đó đi ra ở một nơi nào khác cũng của chính Vũ trụ chúng ta bằng một "điểm kỳ dị" khác. Hai điểm kỳ dị đó được nối với nhau bởi một dạng đường hầm không nằm trong không gian thông thường mà trong một "siêu không gian", giống như lối đi ngầm nối liền hai lỗ do con giun đào dưới đất. Nhà vật lý Mỹ John Wheeler (1911-2008), người luôn có tài đặt ra những cái tên kích thích trí tưởng tượng của công chúng (chính ông cũng là người đã đặt ra cái tên "lỗ đen" trong ngôn ngữ vật lý), đã dựa vào sự giống nhau để đặt tên cho cặp điểm kỳ dị nói trên là "lỗ giun đào" (H. 42). Lỗ này rất giống một lỗ đen, chỉ có điều là nó không có mặt-cầu-chân-trời, mà một khi đã vượt qua nó sẽ không có đường quay trở lại. Trong khi những cuộc du hành qua lỗ đen chỉ đi được đúng theo một chiều thì những chuyến đi qua "lỗ giun đào" có thể theo cả hai chiều. Bạn có thể tự do đi vào, đi ra và liên lạc với phần còn lại của vũ trụ nếu bạn muốn. Các "lỗ giun đào" đều trần trụi và phơi ra cho mọi người nhìn thấy. Chúng không thực hiện việc kiểm duyệt vũ trụ như các lỗ đen. Và điều đặc biệt là chúng có một thuộc tính kỳ lạ, khiến cho nhiều nhà vật lý và các tác giả truyện khoa học viễn tưởng phải mơ ước, đó là chúng cho phép du hành theo thời gian. Bạn hãy đi vào "lỗ giun đào" theo một hướng và bạn sẽ đi tới tương lai. Nếu bạn đi vào lỗ đó theo hướng ngược lại, bạn sẽ quay trở lại quá khứ. Thay vì là nhà du hành qua không gian, lỗ giun đào cho phép bạn trở thành nhà du hành qua thời gian!

Nhưng bạn chớ có vội mua vé: còn rất nhiều vấn đề cần phải giải quyết. Một số vấn đề xem ra khó có thể vượt qua trước khi bạn có thể sử dụng "lỗ giun đào" làm cỗ máy để du hành qua thời gian.

Trước hết, người ta chưa biết rõ cách chế tạo ra cỗ máy đó. Chúng ta biết rằng các lỗ đen được sinh ra là do sự tự co lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn của các ngôi sao nặng vì đã hết chất đốt. Song tác nhân nào là nguồn gốc của những điểm kỳ dị tạo nên lối vào và lối ra của các "lỗ giun đào"? Để trả lời câu hỏi đó, ta phải viện đến hai thứ đối lập nhau. Trước hết, đó là cơ học lượng tử, một lý thuyết vật lý mô tả những cái vô cùng bé và lại có đặc ân cho phép sự tồn tại của những hiện tượng kỳ cục nhất. Sau đó là trường hấp dẫn có khả năng làm uốn cong không gian. Sự liên minh của hai tác nhân đối kháng này, như chúng ta đã biết, sẽ dẫn đến một lý thuyết có tên là "hấp dẫn lượng tử". Các định luật của hấp dẫn lượng tử tiên đoán sự tồn tại của những "lỗ giun đào" cực nhỏ trong không gian có kích thước chỉ cỡ 10^{-33} cm và chúng chỉ tồn tại trong một thời gian cực ngắn, cỡ 10^{-43} giây. Một chớp sáng của đèn flash trong máy ảnh cũng dài hơn cả 10 triệu tỷ tỷ tỷ tỷ lần. Một lỗ giun đào xuất hiện và biến mất trong một chu trình khủng khiếp của cái sống và cái chết tựa như một loại "bọt lượng tử" trôi nổi trong không gian bao quanh ta. Nếu bạn có một kính hiển vi với khả năng phóng đại viễn tưởng lên gấp 10^{33} lần, không gian sẽ không hiện ra trơn tru, liên tục, bằng phẳng và tĩnh lặng như ta vẫn tưởng nữa, mà là đầy những gồ ghề và đứt quãng (xem H. 41b). Nó hỗn loạn và sôi sục hoạt động, nó vặn vẹo và uốn cong theo mọi hướng để sản sinh ra điểm kỳ dị với sự tồn tại đầy ma quái, vừa mới sinh ra đã lập tức biến mất. Đôi lúc hai điểm kỳ dị tiến lại gần nhau và kết nối lại với nhau để tạo thành một "lỗ giun đào" trong không gian. Do vậy, sự tồn tại của lỗ giun đào này không phụ thuộc gì vào các định luật mang tính tất định, mà chỉ phụ thuộc vào những định luật của xác suất.

Một khi lỗ giun đào được tạo ra, ta sẽ dùng nó như thế nào để

du hành trong thời gian? Có hai trở lực lớn nhất phải vượt qua và vào thời điểm hiện nay, xem ra cả hai trở lực đó đều không thể vượt qua được. Trước hết, phải hành động cực nhanh, vì bạn chỉ có một thời gian cực ngắn cỡ 10^{-43} giây để đi vào "lỗ giun đào" và đi ra. Du hành qua "lỗ giun đào" không phải thú vui dành cho những người thích nhàn du và tiêu phí thời gian. Sau nữa, phải tìm cách mở rộng lối vào để người có thể đi lọt vì lối vào của lỗ cực nhỏ, chỉ cỡ 10^{-33}cm. Một số nhà vật lý chuyên tâm nghiên cứu vấn đề này cho rằng nếu bạn mở rộng lối vào của một "lỗ giun đào", thì lỗ này sẽ tự tiêu hủy bằng một vụ nổ dữ dội. Như vậy, rõ ràng là tạo hóa đã tự bảo vệ mình để tránh rơi vào những tình huống không tuân theo quan hệ nhân quả và vô nghĩa. Thực vậy, nếu một người có thể du hành trong thời gian và quay trở về quá khứ, về nguyên tắc, người ấy có thể ngăn cản cha mẹ mình gặp nhau, khiến cho anh ta không thể được thụ thai và do đó không thể có mặt trên cõi đời này. Đó là một điều hết sức phi lý. Tình huống kỳ quặc này được gọi là "nghịch lý người mẹ" (hoặc người bà, người cụ, người kỵ...), bởi vì với một "lỗ giun đào" bạn có thể đi ngược dòng thời gian xa bao nhiêu tùy thích và có thể cắt cái cây phả hệ của mình cao bao nhiêu cũng được. Người ta cũng còn gọi đó là "nghịch lý sát mẫu", hay "sát phụ", bởi vì trong một kịch bản giật gân và phi đạo đức hơn, nhà du hành trong thời gian có thể quay trở về quá khứ thẳng tay giết chết cha mẹ mình. Hiện nay, sự tự bảo vệ chống lại cái vô nghĩa dường như đã được kiểm chứng. Chúng ta không thấy những đoàn khách du lịch tới thăm chúng ta từ tương lai, điều mà nhà vật lý Anh Stephen Hawking (1942-) đã nhận xét rất đúng. Trong mọi trường hợp, các cuộc du hành xuyên qua thời gian bằng các "lỗ giun đào" lúc này chỉ mới tồn tại trong trí tưởng tượng, mặc dù vẫn có một số công trình nghiên cứu nghiêm túc về

vấn đề này. Những chuyến du hành như thế sẽ dừng lại ở đó cho đến khi bức tường Planck bị đột phá và lý thuyết hấp dẫn lượng tử được đặt trên một căn bản vững chắc khác.

Các lỗ đen bị lộ mặt do sự phàm ăn của mình

Thuyết tương đối tiên đoán rằng không gì có thể ngăn cản sự tự co lại của các ngôi sao nặng đã hết chất đốt và những ngôi sao này sẽ kết thúc cuộc đời của chúng bằng cách biến thành lỗ đen. Bạn có thể nghĩ rằng các thiên thể có những tính chất quái lạ này chẳng qua chỉ là những thực thể lý thuyết thuần túy và chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng đầy phóng túng của các nhà vật lý mà thôi. Nhưng thực tế không phải như vậy. Các nhà vật lý thiên văn đã thật sự phát hiện ra các lỗ đen từ trong những nơi sâu thẳm của không gian. Đúng là chúng ta không thể nhìn thấy cái điểm kỳ dị được giấu kín trong lòng các lỗ đen, nhưng các lỗ đen đã tự để lộ mặt mình do tính phàm ăn và do những tổn thất mà chúng đã gây ra ở xung quanh.

Giống như con người, các ngôi sao cũng thích sống từng đôi. Chỉ có điều sợi dây liên kết chúng với nhau không phải là tình yêu và sự dịu dàng mà là lực hấp dẫn. Gần nửa số sao trong dải Ngân Hà đều là các "sao đôi", tức là một cặp sao quay xung quanh nhau. Nói chung, hai ngôi sao trong sao đôi không có cùng khối lượng, ngôi này thường nặng hơn nhiều so với ngôi kia. Ngôi sao nặng hơn cần rất nhiều năng lượng để nuôi dưỡng độ sáng lấp lánh của nó. Nó tiêu thụ chất đốt (hyđro, hêli, cacbon...) theo một nhịp điệu hết sức điên cuồng và hoang phí. Rồi vài chục triệu năm sau - một chớp mắt so với 15 tỷ năm tuổi của Vũ trụ - ngôi sao này chết, để lại một lỗ đen. Trái lại, người bạn đời nhẹ hơn của nó lại sống đạm

bạc và tằn tiện hơn. Nó không sáng lắm, nên tiêu phí ít năng lượng và tiết kiệm được chất đốt của mình. Điều này cho phép ngôi sao nhỏ sống lâu hơn rất nhiều so với người bạn đời to xác của nó. Sau khi ngôi sao lớn chết, ngôi sao nhỏ này vẫn bay trên quỹ đạo quanh xác ngôi sao lớn như thể không có chuyện gì xảy ra. Các chuyển động trên quỹ đạo vẫn gần như trước, vì lực hấp dẫn là kẻ dẫn dắt vũ điệu, mà lực này lại chỉ phụ thuộc vào tổng khối lượng của hệ, trong khi khối lượng này lại chẳng thay đổi là bao. Thực tế, ngôi sao lớn trong cơn hấp hối bùng nổ của nó đã làm bắn phần vỏ ngoài của nó vào không gian, nhưng lớp vỏ ngoài này có khối lượng không lớn lắm. Vì vậy, hầu như toàn bộ khối lượng của ngôi sao chết đều ở trong lỗ đen.

Lực hấp dẫn của lỗ đen đã làm cho khí ở lớp vỏ bọc ngoài của ngôi sao nhỏ còn sống chảy thành dòng vào điểm kỳ dị của nó. Bởi vì lỗ đen quay xung quanh mình nó, nên toàn bộ không gian bao quanh đều bị cuốn vào một chuyển động cuộn xoáy ghê gớm, khiến cho dòng khí không rơi thẳng vào miệng lỗ đen, mà nó tiến lại gần lỗ đen theo đường xoáy trôn ốc ngày càng xiết chặt lại. Trong khi đó, lực ly tâm lại làm cho khí có dạng như một chiếc đĩa dẹt bao quanh lỗ đen và ở ngay bên ngoài mặt-chân-trời. Đĩa khí này tăng thêm khối lượng bằng cách kết tụ thêm khí. Vì thế, như chúng ta đã biết, người ta gọi nó là "đĩa kết tụ". Khi rơi về phía lỗ đen, khí được nung nóng lên tới hàng triệu độ, nên nó phát ra một ánh sáng mang rất nhiều năng lượng. Cụ thể, đĩa kết tụ bắt đầu phát xạ một lượng lớn các tia X. Các đài thiên văn tia X trên quỹ đạo (bởi vì bầu khí quyển Trái đất hấp thụ rất mạnh các tia X, nên phải đặt đài quan sát thiên văn trong không gian) đã phát hiện thấy trong chòm sao Thiên Nga một ngôi sao sáng với một sao bạn không nhìn thấy, quay quanh nhau và phát ra các tia X. Các nhà thiên văn cho rằng



Hình 43. *Lỗ đen phàm ăn*. Có hai ngôi sao quay quanh nhau trong một hệ sao đôi. Hai ngôi sao này không có cùng khối lượng. Ngôi sao nặng hơn (có khối lượng lớn gấp 10 lần Mặt trời) tiêu tốn chất đốt hạt nhân của nó nhanh hơn và chết, rồi tự co lại để trở thành lỗ đen. Lỗ đen này vẫn tiếp tục quay quanh ngôi sao bạn có khối lượng nhỏ hơn, đây là ngôi sao vẫn còn đủ chất đốt hạt nhân và tiếp tục phát sáng. Khí bao quanh ngôi sao còn sáng bị lực hấp dẫn của lỗ đen hút về phía nó. Dòng khí này tạo thành một đĩa kết tụ bao quanh lỗ đen trước khi rơi vào cái miệng há hốc của nó. Những nguyên tử khí, khi rơi vào lỗ đen, va chạm mãnh liệt với nhau và được nung nóng tới nhiệt độ hàng triệu độ, khiến cho mép trong của đĩa khí phát xạ rất mạnh các tia X. Trong chòm sao Thiên Nga (*Cygne*), có một nguồn tia X cực mạnh, phát ra từ một thiên thể không nhìn thấy được, quay xung quanh một ngôi sao. Các nhà thiên văn cho rằng thiên thể không nhìn thấy được này là một lỗ đen và đặt tên cho nó là Cygnus X-1.

ngôi sao bạn vô hình đó, không gì khác, chính là một lỗ đen có khối lượng bằng cả chục Mặt trời. Do tính phàm ăn, ngôi sao này đã để lộ sự tồn tại của mình, khi nó hút về phía mình lớp vỏ bọc khí bên ngoài của ngôi sao bạn luôn tỏa sáng (xem H. 43). Như vậy, các lỗ đen sinh ra từ cái chết của một ngôi sao nặng trong dải Ngân Hà,

đã để lộ rõ hơn sự hiện diện của mình nếu chúng sống thành cặp với một ngôi sao còn đang sống. Các lỗ đen đơn độc như lỗ đen mà Jules đã viếng thăm cũng có một đĩa kết tụ được cấu tạo bằng khí bao quanh, nhưng khí này không đủ đặc (mật độ hay khối lượng riêng của nó nhỏ hơn so với không khí chúng ta đang hít thở hàng tỷ tỷ tỷ lần), nên không thể tạo ra một bức xạ tia X đủ mạnh để cho các đài quan sát trên quỹ đạo của chúng ta phát hiện ra được. Các lỗ đen đơn độc sẽ chìm nghỉm vĩnh viễn trong màn đêm bao la của không gian, thi thoảng chúng mới thức dậy để ăn ngấu nghiến các dải mây bất hạnh giữa các vì sao khi chúng đi qua quá gần... hoặc xơi tái các nhà du hành vũ trụ quá bất cẩn.

Một lỗ đen ở tâm của dải Ngân Hà

Các sao đôi không phải là những vùng duy nhất của dải Ngân Hà, nơi mà các nhà thiên văn nghĩ rằng sẽ phát hiện ra một lỗ đen. Họ cũng khẳng định đã phát hiện ra một lỗ đen ở ngay tâm của thiên hà chúng ta, cách Trái đất khoảng 300.000 năm ánh sáng. Dấu hiệu tiết lộ lần này không phải là sự bức xạ dồi dào các tia X của một đĩa kết tụ, mà là những chuyển động hỗn độn của những đám mây khí giữa các vì sao ở xung quanh tâm thiên hà. Các chuyển động này sẽ rất lờ đờ nếu như không có một thiên thể rất nặng ở tâm Ngân hà, nhưng trái lại, chúng sẽ có biên độ rất lớn nếu có một thiên thể như thế. Thực tế, phải có những vận tốc cực lớn mới có thể chống lại được lực hấp dẫn của một khối lượng lớn. Mà các đám mây khí ở tâm của thiên hà lại quay theo quỹ đạo với vận tốc rất lớn, nên từ đây người ta suy ra sự hiện diện của một thiên thể ở trung tâm có khối lượng bằng 3 triệu Mặt trời. Mặt khác, các nhà thiên văn cũng phát hiện thấy ở tâm thiên hà chúng ta một nguồn sóng vô tuyến có kích thước cực nhỏ gọn, chỉ cỡ Hệ

Mặt trời của chúng ta. Họ cho rằng bức xạ vô tuyến này được phát bởi các electron bị bứt ra trong đĩa kết tụ của một lỗ đen và được gia tốc tới vận tốc rất lớn bởi một từ trường rất mạnh. Lỗ đen có khối lượng bằng 3 triệu khối lượng Mặt trời này có thể đã được tạo ra bởi sự hợp nhất của nhiều lỗ đen có khối lượng nhỏ hơn và là kết quả của hàng chục nghìn ngôi sao bùng nổ trong cơn hấp hối.

Vậy liệu lỗ đen ở tâm của dải Ngân hà có gì nguy hiểm đối với chúng ta hay không? Liệu nó có nuốt chửng Trái đất cùng với tất cả chúng ta không? Mặt-chân-trời của lỗ đen ở tâm của thiên hà có bán kính khoảng 9 triệu km (tức khoảng 30 giây ánh sáng). Vì Trái đất ở cách xa lỗ đen 30.000 năm ánh sáng, nên nanh vuốt của lỗ đen không thể với tới chúng ta được. Lỗ đen có thể mở rộng tầm hoạt động của nó bằng cách nuốt chửng các ngôi sao đi qua gần tầm với của nó và tăng thêm khối lượng. Nhưng giả dụ lỗ đen có tham lam vô độ đến mức có thể nuốt chửng tất cả các ngôi sao trong thiên hà chúng ta thì bán kính của nó cũng chỉ tăng lên đến 3000 tỷ km tức 90.000 lần ngắn hơn khoảng cách từ tâm của thiên hà đến Hệ Mặt trời chúng ta. Hơn nữa, để nuốt chửng cả thiên hà lỗ đen phải mất một tỷ tỷ năm, tức khoảng 100 triệu lần dài hơn so với tuổi của Vũ trụ. Như vậy, cho dù có thừa nhận rằng quỹ đạo của Mặt trời có thể thay đổi trong một khoảng thời gian dài dằng dặc như vậy, thì triển vọng bị lỗ đen ở tâm Ngân hà nuốt chửng cũng không là điều đáng để chúng ta phải lo âu. Đối với những ai lo lắng về ngày tận thế thì sự biến đổi của Mặt trời thành một sao kềnh đỏ trong vòng 4,5 tỷ năm tới, có lẽ còn là một nguy cơ hiện thực hơn.

Các nhà thiên văn đã mở rộng địa bàn săn tìm lỗ đen sang các thiên hà khác. Và họ đã không trở về tay không. Họ đã tìm ra những lỗ đen còn nặng hơn nữa (bằng cỡ 1 tỷ khối lượng Mặt trời) ở tâm của một số thiên hà đang phóng ra vật chất (xem ảnh 12

trong tập ảnh màu) hoặc ở tâm của các thiên hà lân cận, yên tĩnh hơn như thiên hà Andromede chẳng hạn. Những tín hiệu thông báo (về sự hiện diện các lỗ đen lớn) lại vẫn là những vận tốc cực lớn của các ngôi sao ở tâm thiên hà. Sự kiện này tiết lộ sự hiện diện của một khối lượng lớn, cũng như một độ sáng lớn, mà điều đó lại tiết lộ một mật độ lớn của các sao bị hút bởi lực hấp dẫn của lỗ đen. Nhưng chưa hết: các nhà thiên văn còn cho rằng các lỗ đen nặng gấp 1000 tỷ lần khối lượng Mặt trời, tức khoảng 1 triệu lần nặng hơn lỗ đen ở tâm của dải Ngân hà, còn cung cấp năng lượng khổng lồ cho các quasar bằng cách nuốt chửng các ngôi sao của các thiên hà tá túc trong những quasar đó. Và cũng chính tính phàm ăn này đã đưa các quasar tới sự tiêu vong. Trong vài tỷ năm, các nguồn dự trữ sao trong thiên hà sẽ cạn kiệt, không còn thức ăn để thỏa mãn con quỷ phàm ăn không bao giờ thấy no nữa. Quasar sẽ tắt. Cộng đồng các quasar cách đây hơn chục tỷ năm (tức 2 hay 3 tỷ năm sau Big Bang) vốn rất đông đúc, nay hầu như chẳng còn được là bao.

Sự hòa nhập của các lỗ đen và những dao động của không - thời gian

Để lùa các lỗ đen ra khỏi hang ổ của chúng, các nhà thiên văn cho đến nay đã sử dụng rất nhiều các kính thiên văn đặt trên mặt đất cũng như trong không gian nhằm mục đích thu được ánh sáng phát ra từ các đĩa kết tụ bao quanh chúng. Họ phân tích các ánh sáng tạo nên phổ điện từ, từ sóng vô tuyến ít năng lượng nhất đến các tia gamma nhiều năng lượng nhất, đi qua (theo trật tự năng lượng tăng dần) ánh sáng hồng ngoại, vi ba, ánh sáng nhìn thấy, tia tử ngoại và tia X. Song tính tò mò của các nhà thiên văn chưa phải đã được thỏa mãn. Ánh sáng điện từ đến từ các vùng còn ở khá xa

mặt-chân-trời của các lỗ đen trong đĩa kết tụ. Nhưng các nhà thiên văn muốn biết nhiều hơn về các vùng ở gần sát mặt-chân-trời đó. Ngoài ánh sáng ra, liệu có những phương tiện khác buộc các lỗ đen phải tiết lộ những bí mật của chúng hay không? Tựa như các linh mục phải đi cầu đến lời sấm truyền ở Delphes, các nhà thiên văn đành quay trở lại hỏi các phương trình của Einstein. Và một lần nữa, chúng đã không làm họ phải thất vọng. Các phương trình này đã cung cấp cho họ một phương tiện khác để nghiên cứu các lỗ đen mà không cần đến ánh sáng.

Để hiểu bằng cách nào, chúng ta hãy đi đến tâm của một thiên hà xa xôi và chú ý quan sát một cặp lỗ đen quay xung quanh nhau. Các phương trình Einstein cho biết: trong vũ điệu quỷ quái của mình, các lỗ đen lún sâu trong cấu trúc của không-thời gian đã phát ra các sóng lan truyền ra phía ngoài với vận tốc ánh sáng. Các sóng này giống như các sóng trên mặt nước ao hồ khi ta ném một hòn đá xuống. Chúng lan truyền về phía bờ. Song, thay vì là các đỉnh và hõm sóng trên mặt nước, ở đây là những đỉnh và hõm trong độ cong của không gian. Bởi vì "phong cảnh" của không gian được nhào nặn nên bởi lực hấp dẫn, nên các sóng độ cong không gian này được gọi là "sóng hấp dẫn". Trong khi truyền lan ra phía ngoài, các sóng này đánh cắp năng lượng chuyển động của hai lỗ đen, làm cho chúng rơi vào đường xoáy ốc hướng tới nhau trong một chuyển động quỹ đạo được gia tốc, cho tới khi chúng đạt gần vận tốc ánh sáng. Các mặt-chân-trời của hai lỗ đen tiến dần lại nhau, để rồi cuối cùng chạm vào nhau. Khi đó, hai lỗ đen hòa nhập vào nhau để tạo nên một lỗ với khối lượng bằng tổng khối lượng của hai lỗ đen ban đầu. Sự hòa nhập này được báo hiệu bởi sự phát ra những sóng hấp dẫn mới.

Trên Trái đất, các sóng hấp dẫn này đến với chúng ta như những âm thanh của một giai điệu bắt nguồn từ một nơi rất xa xăm. Giống như các sóng âm chuyển đến tai chúng ta những nốt nhạc để ru chúng ta bằng một bản sonate của Chopin, các sóng hấp dẫn cũng mang theo chúng những sự kiện trong cuộc sống đã qua của các lỗ đen. Các nốt nhạc đến làm rung màng nhĩ chúng ta và các rung động này được các dây thần kinh thính giác chuyển tới não để não giải mã: và thế là chúng ta ngất ngây trong một bản fuga của Bach hay phiêu diêu trong một bản giao hưởng của Beethoven. Cũng như thế, nếu chúng ta thu và giải mã được những sóng hấp dẫn, thì chúng ta cũng sẽ mê mẩn với lịch sử của các lỗ đen. Các sóng này sẽ kể cho chúng ta nhiều chi tiết về khối lượng, về chuyển động quay, về dạng quỹ đạo của các lỗ đen, hoặc về những đột biến khi chúng hòa nhập vào nhau và những rung động của không-thời gian xuất hiện khi đó. Một mặt, các sóng hấp dẫn cho chúng ta biết về những biến dạng của không-thời gian, mặt khác, chúng còn đóng một vai trò bổ trợ cho sóng điện từ, các sóng cho chúng ta biết về những tính chất (như nhiệt độ, khối lượng riêng hay mật độ, cường độ từ trường) của vật chất xung quanh lỗ đen. Do các sóng hấp dẫn không tương tác với vật chất giữa các vì sao, nên chúng không bị biến dạng và bị hấp thụ, và vì thế chúng đem đến cho chúng ta những thông tin mới, còn nguyên vẹn về các vùng ở gần chân trời của các lỗ đen.

Giai điệu của không gian

Nhưng làm thế nào để thu và giải mã được các sóng hấp dẫn? Làm thế nào để chế tạo được cái màng nhĩ khổng lồ để nghe được chúng? Và làm thế nào để giải mã được giai điệu của không gian?

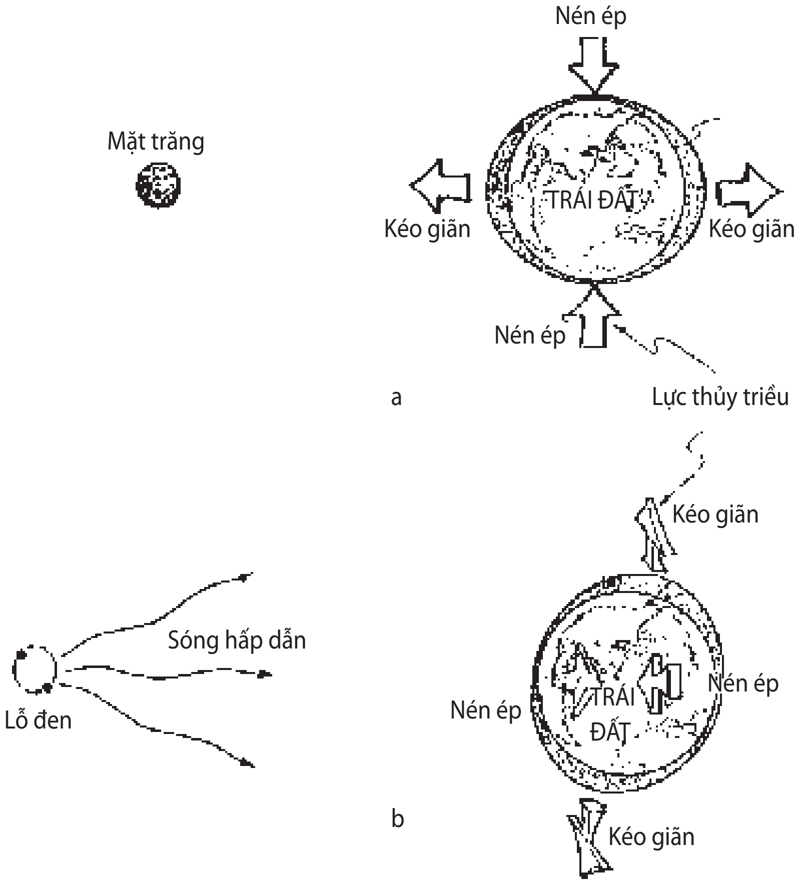
Bài toán thật đồ sộ bởi vì các lỗ đen có khối lượng khổng lồ sản sinh ra sóng hấp dẫn không phải ở ngay ngưỡng cửa nhà bạn. Chúng ở rất xa trong không gian. Những cặp lỗ đen nặng gấp vài chục lần khối lượng Mặt trời nằm rải rác đây đó trong dải Ngân hà, ở cách xa chúng ta hàng chục, thậm chí hàng nghìn năm ánh sáng. Chúng ta cũng đã thấy rằng có một lỗ đen nặng gấp 3 triệu lần khối lượng Mặt trời nằm ở tâm của Ngân hà và cách xa chúng ta khoảng 30.000 năm ánh sáng. Còn những lỗ đen siêu nặng, có khối lượng cỡ 1000 tỷ khối lượng Mặt trời và đang luẩn quẩn giữa đám các quasar, thì người ta chỉ tìm thấy ở những khoảng cách cả tỷ năm ánh sáng. Những khoảng cách khổng lồ này không hề giúp cho nhiệm vụ săn lùng các sóng hấp dẫn trở nên dễ dàng hơn chút nào. Giống như âm thanh của một dàn nhạc sẽ nhỏ dần khi chúng ta đi ra xa nó, giai điệu của không gian được sinh ra bởi một cặp lỗ đen rơi vào đường xoáy ốc tiến về nhau và hòa nhập với nhau cũng sẽ có cường độ càng giảm khi các lỗ đen đó càng ở xa Trái đất. Cường độ âm nhạc của các lỗ đen biến thiên tỷ lệ nghịch đối với khoảng cách của chúng. Nếu bạn lùi ra xa một khoảng cách 100 lần lớn hơn, thì bạn sẽ nghe tiếng nhạc 100 lần nhỏ hơn.

Trái lại, hiệu ứng sẽ rất kỳ lạ nếu bạn ngồi ngay ở lô ghế đầu. Anh bạn Jules, nhà thám hiểm của chúng ta, có thể minh chứng điều đó. Trong nhiều chuyến thám hiểm của mình, Jules đã tới nghiên cứu sự hòa nhập cuối cùng của cặp lỗ đen trong chòm sao Pegasus (Phi Mã). Jules đã đến một tuần trước thời điểm định mệnh đó. Mỗi lỗ đen nặng cỡ 20 lần khối lượng Mặt trời và ở cách nhau 30.000km. Chúng bị cuốn vào một vũ điệu điên cuồng, lỗ nọ quay quanh lỗ kia, cứ 10 giây một vòng. Trong tuần lễ tiếp theo sau, nhịp điệu ma quái này không ngừng gia tăng. Hai lỗ đen tiến lại gần nhau theo đường xoắn trôn ốc. Khoảng cách giữa chúng

giảm xuống 20.000, rồi 3.000, rồi 2.000 km. Trước đó để quay một vòng, lỗ đen phải mất 10 giây, nay chỉ còn 5 giây, 2 giây rồi 0,2 giây. Trong vòng 10 giây trước khi chúng hòa nhập làm một, con tàu vũ trụ của Jules bắt đầu rung lên dữ dội, báo hiệu các sóng hấp dẫn đã lan tới. Cường độ của các rung động không ngừng tăng lên và đạt tới đỉnh cao vào đúng lúc hai lỗ đen hòa nhập thành một. Sự hòa nhập này đã gây ra một đợt phát mới các sóng hấp dẫn. Jules hết bị kéo dài ra rồi lại bị nén nhỏ lại ở đầu và ở chân như thể có hai bàn tay khổng lồ đang đang thích thú đùa giỡn với cơ thể của anh. Rồi các sóng đi qua và những rung động cũng giảm cường độ cho đến khi tất cả trở lại bình thường. Jules thở phào một hơi nhẹ nhõm, vì nếu không, cơ thể tội nghiệp của anh sẽ không trụ nổi nữa. Đợt sóng hấp dẫn sắp mất hút trong sâu thẳm của không gian và một ngày nào đó hẳn sẽ đến thăm Trái đất chúng ta...

Các nhà vật lý trên Trái đất đã chuẩn bị ráo riết để đón tiếp một cách xứng đáng chuyến viếng thăm của các sóng hấp dẫn. Để làm việc đó, họ cần chế tạo một dụng cụ đủ nhạy để thu giữ và khai thác ở các sóng này những thông tin về lịch sử của các lỗ đen. Như chúng ta đã thấy với cơ thể tội nghiệp của Jules, những hiệu ứng của các sóng hấp dẫn có một vẻ khá giống với các hiệu ứng do các lực thủy

Hình 44. *Các lực thủy triều do sóng hấp dẫn đi qua Trái đất tạo ra.* Cũng như Mặt trăng đã gây ra thủy triều trên Trái đất (hình a), sự đi qua của sóng hấp dẫn do sự hòa nhập của hai lỗ đen phát ra cũng ảnh hưởng tới mực nước trên các đại dương của Trái đất (hình b). Tuy nhiên, giữa hai tình huống nêu trên có ba sự khác biệt cơ bản. Trước hết, các sóng hấp dẫn truyền trong không gian với vận tốc ánh sáng, hoàn toàn giống như các sóng vô tuyến hay ánh sáng khả kiến. Trái lại, các lực thủy triều tác dụng bởi Mặt trăng là không đổi. Thứ hai, trong khi các lực thủy triều gây bởi Mặt trăng có thể tác dụng theo mọi hướng của không gian, vừa theo hướng Trái đất - Mặt trăng (còn gọi là hướng dọc) vừa theo cả hướng vuông góc (còn gọi là hướng ngang), thì các sóng hấp dẫn chỉ tác dụng trong mặt phẳng vuông góc với phương



truyền. Sự kéo giãn hay nén lại mức nước đại dương dao động một cách tuần hoàn khi có sóng hấp dẫn đi qua. Khi một đỉnh sóng đi qua, sự kéo giãn được thực hiện theo phương trên-dưới, còn sự nén được thực hiện theo phương trước-sau. Khi một hõm sóng đi qua, sự kéo giãn và nén diễn ra ngược lại: kéo giãn theo phương trước-sau, còn nén theo phương trên-dưới. Sự khác biệt thứ ba là về biên độ của hai hiệu ứng đó. Trong khi Mặt trăng làm nâng hay hạ mực nước đại dương cỡ hàng mét, thì các sóng hấp dẫn do sự hòa nhập của hai lỗ đen khổng lồ phát ra chỉ làm thay đổi mức nước đại dương cỡ 10^{-10}cm, tức 10 000 lần nhỏ hơn kích thước một nguyên tử.

triều mà Mặt trăng đã tác dụng lên các đại dương trên Trái đất gây ra. Ở chỗ Trái đất gần Mặt trăng nhất (cũng như ở chỗ đối kính với nó ở phía bên kia của mặt địa cầu), nước của đại dương bị kéo lên bởi lực hấp dẫn của Mặt trăng và do đó thủy triều lên (triều cường), giống như cơ thể của Jules bị kéo giãn ra bởi lực hấp dẫn vậy. Song cũng có sự khác biệt sâu sắc giữa hai tình huống đó (H. 44).

Trước hết, lực thủy triều bao giờ cũng kéo nước lên trong khi cơ thể của Jules lúc thì bị kéo giãn ra và lúc thì bị nén lại. Nó bị kéo giãn dài ra khi đỉnh của sóng đi qua và bị nén lại khi các hõm sóng tới, sau đó nó lại bị kéo giãn dài ra bởi các đỉnh sóng tiếp theo. Trái lại, nước ở một nơi nào đó trên Trái đất rút đi khi thủy triều xuống, không phải là vì nước ở đây bị nén lại, mà bởi vì chuyển động quay của Trái đất đã làm cho nơi đó đi ra xa Mặt trăng hơn.

Sau nữa, cũng còn có sự khác biệt về tầm vóc giữa cường độ của hai hiệu ứng. Bởi vì Mặt trăng ở rất gần (chỉ khoảng hơn 1 giây ánh sáng), nên nó có thể nâng nước đại dương lên một hoặc nhiều mét, cho phép các con sóng có thể tới vuốt ve những chiếc chân ghế mà người trông coi bãi biển bỏ lại vào lúc triều cường. Trái lại, các sóng hấp dẫn đã đi qua một chặng đường giữa các vì sao, dài tới hàng trăm, thậm chí hàng nghìn năm ánh sáng, rồi lại phải vượt qua những khoảng cách giữa các thiên hà dài hàng tỷ năm ánh sáng. Do đó khi tới được Trái đất, cường độ của các sóng này đã giảm đi rất nhiều. Các lực hung dữ đó đã từng lắc rất mạnh con tàu của Jules và đã hành hạ không hề nương tay cơ thể khốn khổ của anh, nay chỉ còn là cái bóng nhợt nhạt của chúng mà thôi. Các sóng hấp dẫn được sinh ra bởi sự hòa nhập của một cặp lỗ đen, mỗi lỗ có khối lượng bằng cả chục khối lượng Mặt trời và ở cách xa Trái đất hàng tỷ năm ánh sáng, chỉ có thể nâng nước các đại dương trên Trái đất lên một độ cao vô cùng bé, cỡ 10^{-12}cm, tức chỉ

một phần nghìn tỷ tỷ (10^{-21}) đường kính Trái đất hoặc 10.000 lần nhỏ hơn kích thước một nguyên tử. Vì vậy, hiển nhiên là không thể bằng cách theo dõi sát sao mức nước đại dương mà chúng ta có thể phát hiện ra sự viếng thăm Trái đất của một sóng hấp dẫn. Các nhà vật lý phải phát huy hết khả năng sáng tạo của mình để chế tạo ra các máy dò tìm sóng hấp dẫn, có khả năng phát hiện ra những biến đổi còn nhỏ hơn cả kích thước của một nguyên tử.

Một hình trụ rung động và những tinh thể cất tiếng

Nhà khoa học Mỹ Joseph Weber (1919-2000) là người đầu tiên có ý định chế tạo máy dò tìm như thế từ năm 1959. Nó có dạng một khối hình trụ rất lớn bằng nhôm dài 2m, đường kính 0,5m, nặng tới một tấn (H. 45). Ý tưởng đề ra ở đây là: nếu các sóng hấp dẫn đi qua máy dò này thì khối nhôm sẽ rung động giống như con tàu vũ trụ của Jules khi các sóng này đi qua. Khối nhôm có một tần số dao động riêng, giống như một chiếc ly uống sâm-banh có tần số riêng của nó. Hãy gõ nhẹ vào chiếc ly này, lúc nào bạn cũng sẽ nghe thấy cùng một âm thanh du dương, trong như pha lê. Chỉ cần đo các dao động của khối hình trụ là người ta có thể được nghe các sóng hấp dẫn kể về những gì ta muốn biết về chúng. Nhưng nói thì nhanh vậy, còn làm thì chậm. Bởi vì hình trụ bằng nhôm chỉ dài 2m, tức khoảng 6 triệu lần nhỏ hơn đường kính Trái đất, nên mỗi dao động của hình trụ sẽ yếu hơn 6 triệu lần so với sự nâng nước đại dương lên bởi các sóng hấp dẫn. Nghĩa là dao động này chỉ có biên độ cỡ 10^{-19}cm, tức 1 phần 1000 kích thước một hạt nhân nguyên tử. Liệu ta có thể đo được những biến đổi cực nhỏ như vậy không? Sự thách thức kỹ thuật này thật là ghê gớm. Weber có ý tưởng gắn những tinh thể vào hình trụ của ông. Đây là các tinh thể có tính chất đặc biệt, khi chịu một áp lực do



Hình 45. *Một máy dò sóng hấp dẫn*. Ảnh chụp năm 1973, nhà vật lý Mỹ Joseph Weber đang làm việc trên máy dò sóng hấp dẫn của mình. Đây là một khối nhôm lớn có dạng một hình trụ. Khi sóng hấp dẫn từ không gian tới, nó sẽ gây những kéo giãn hoặc nén ép nhỏ hai đầu của khối trụ. Để phát hiện những thay đổi cực nhỏ này, Weber đã cho lắp đặt những tinh thể áp điện xung quanh vùng trung tâm của khối trụ. Dưới tác dụng của sức kéo giãn và nén ép kế tiếp nhau do sóng hấp dẫn gây ra, các tinh thể này sẽ tạo ra một điện áp có thể đo được. Loại dụng cụ này chưa khi nào đạt tới độ nhạy cần thiết để có thể phát hiện được các sóng hấp dẫn tới từ các hiện tượng vật lý thiên văn, như sự hòa nhập của hai lỗ đen hoặc các sao siêu mới báo hiệu cái chết bùng nổ của các ngôi sao nặng.

các dao động gây ra, chúng sẽ tạo ra một điện áp (các nhà vật lý gọi hiện tượng này là hiệu ứng áp điện). Điều này cũng tựa như các tinh thể cất tiếng hát mỗi khi các sóng hấp dẫn đến. Với nhiều tinh thể mắc nối tiếp với nhau, điện áp có thể được khuếch đại lên và đo được. Nhờ các tinh thể có khả năng thần diệu này, Weber đã đo được các dao động có biên độ bằng 10^{-14}cm, tức chỉ bằng 1 phần 10 kích thước của hạt nhân nguyên tử. Mặc dầu đã đạt được kỳ tích kỹ thuật như thế, nhưng biên độ đó vẫn quá lớn, nó vẫn còn lớn gấp 100.000 lần biên độ cần thiết để dò tìm được các sóng hấp dẫn phát ra bởi sự hòa nhập của hai lỗ đen, có khối lượng mỗi lỗ 10 lần lớn hơn Mặt trời và ở cách xa Trái đất 1 tỷ năm ánh sáng.

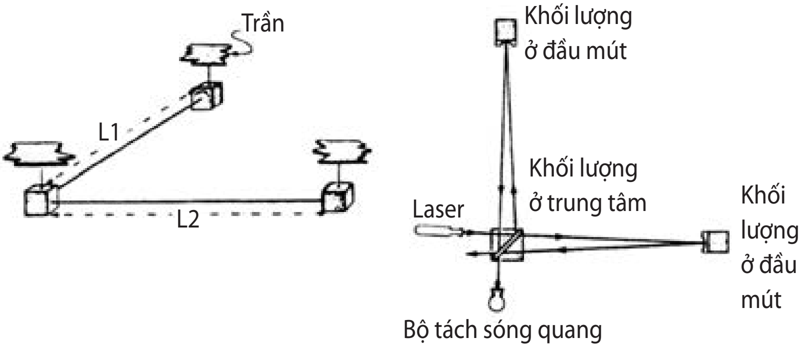
Còn có những khó khăn khác. Phải cách ly hình trụ nhôm với các chấn động của mặt đất và với trọng lực luôn thay đổi của khí quyển Trái đất. Cách tốt nhất là phải chuyển khối trụ đó vào không gian, song cái giá phải trả quá đắt chưa cho phép làm được chuyện đó. Mặt khác, cho dù người ta có thể cách ly hoàn toàn khối trụ với môi trường bao quanh đi nữa, nó cũng chỉ phát hiện được những sóng hấp dẫn trong dải tần số dao động rất hạn chế, đó là những tần số tương tự như tần số dao động riêng của chính khối trụ. Để thể hiện được toàn bộ vẻ đẹp và sự phong phú của một bản giao hưởng Beethoven, cần phải có cả một dàn nhạc đầy đủ với hàng tá các nhạc cụ, mỗi nhạc cụ tạo ra những âm sắc khác nhau. Cũng tương tự như thế, để tái tạo lại bản giao hưởng của các sóng hấp dẫn, cần phải có hàng nghìn khối trụ với kích thước và khối lượng khác nhau, mỗi khối thu một giọng điệu khác nhau. Điều này quá ư tốn kém và không thực tế.

Cũng còn một khó khăn nữa về mặt lý thuyết cần giải quyết. Khó khăn này liên quan tới một trong số các nguyên lý cơ bản của cơ học lượng tử, đó là nguyên lý bất định của nhà vật lý Đức Werner

Heisenberg. Ông dạy chúng ta rằng không thể xác định một cách chính xác vị trí của một nguyên tử mà không làm nhiễu loạn nó bằng các dụng cụ đo lường của chúng ta, cụ thể là làm cho vận tốc của nó trở nên ngẫu nhiên và không thể tiên đoán được. Vị trí của nguyên tử được xác định càng chính xác, thì vận tốc của nó càng trở nên bất định. Tính bất định này là một thuộc tính cố hữu của Tự nhiên. Nó không phụ thuộc vào cách thức bạn đo lường như thế nào, cũng không phụ thuộc vào mức độ tinh xảo của các dụng cụ đo. Khi nói đến việc phát hiện các dao động có biên độ nhỏ hơn một phần triệu kích thước của một hạt nhân nguyên tử, nguyên lý bất định phải nhập cuộc và nói với chúng ta rằng: một độ chính xác như thế là không thể nào đạt tới được mà không tạo ra các dao động nhiễu của hình trụ nhôm. Và những dao động nhiễu này sẽ hoàn toàn che lấp những dao động do các sóng hấp dẫn tạo ra.

Giao thoa kế laser

Đối mặt với những khó khăn đó, các nhà vật lý quay sang một loại máy dò tìm khác. Dụng cụ hiện đang được ủng hộ là giao thoa kế laser. Ý tưởng ở đây là treo ba vật nặng vào hai đầu mút và đỉnh góc vuông của một chữ "L" cực lớn, mỗi nhánh của chữ này dài tới nhiều kilômét (H. 46). Khi một sóng hấp dẫn tới, nó hơi làm thay đổi chiều dài của mỗi nhánh. Cụ thể, khi một đỉnh sóng đi qua, một trong hai nhánh sẽ bị nén co lại, còn nhánh kia bị kéo giãn ra. Tình hình sẽ diễn ra ngược lại, khi một hõm sóng đi qua. Những thay đổi độ dài cực nhỏ này sẽ được kiểm soát một cách gắt gao bởi một hệ thống các tia laser, đi đi lại lại dọc theo mỗi nhánh của chữ L và bị phản xạ trở lại bởi các gương đặt ở đầu mút của mỗi nhánh. Nếu một trong hai nhánh của chữ "L" dài ra và nhánh thứ hai co lại, thì tia laser thứ nhất phải mất nhiều thời gian hơn so với tia thứ



Hình 46. *Máy dò các sóng hấp dẫn dùng laser*. Dụng cụ gồm hai nhánh của một chữ L khổng lồ. Những khoảng cách L_1 và L_2 giữa các vật nặng đặt ở mút hai nhánh sẽ thay đổi chút ít khi có sóng hấp dẫn đi qua. Ví dụ, độ dài L_1 sẽ dài ra trong khi độ dài L_2 sẽ co ngắn lại. Những thay đổi vô cùng bé này được đo nhờ một hệ thống các tia laser đi đi lại lại giữa các mút của chữ L. Tia laser đi dọc theo L_1 sẽ mất nhiều thời gian hơn chút ít so với tia đi dọc theo L_2, điều đó làm cho hai tia laser hơi lệch pha so với nhau. Độ lệch pha này được đo nhờ một giao thoa kế. Và nhờ đó ta có thể nghiên cứu được tính chất của các sóng hấp dẫn.

hai trong hành trình khứ hồi của mình. Hai tia laser như vậy sẽ lệch pha nhau và được tổng hợp với nhau trong một dụng cụ tên là "giao thoa kế", một máy chuyên đo những độ lệch pha. Khi không có sóng hấp dẫn, các khoảng cách giữa ba vật nặng không thay đổi, hai tia laser cùng phải mất một khoảng thời gian như nhau trong hành trình khứ hồi, và lúc đó sự lệch pha cũng biến mất. Như vậy, chúng ta có thể làm cho các sóng hấp dẫn phải kể lại lịch sử hòa nhập của hai lỗ đen bằng cách đo độ lệch pha. Còn về nguyên lý bất định, nó không còn đặt ra nhiều vấn đề như trước nữa; bởi vì các giao thoa kế có độ dài gấp nhiều nghìn lần khối trụ của Weber, nên biên độ của các biến đổi cũng sẽ hàng nghìn lần lớn hơn. Do độ chính xác của các phép đo được yêu cầu nhỏ hơn, nên những nhiễu động ký sinh do các dụng cụ đo đưa vào trở nên không đáng kể nữa.

Người ta dự kiến đến năm 2007 sẽ có 8 giao thoa kế được đặt rải rác trên khắp địa cầu. Hai máy sẽ đặt tại Pisa, Italia - thành phố mà ở đó Galileo đã tiến hành nghiên cứu trọng lực bằng cách cho các vật rơi từ đỉnh của tháp nghiêng, cách đây gần 4 thế kỷ trước. Galileo (nếu ông sống lại) ắt sẽ phải ngạc nhiên khi thấy cũng tại thành phố này sẽ xuất hiện một dụng cụ có khả năng phát hiện các dao động của không-thời gian do lực hấp dẫn tạo ra. Sáu giao thoa kế khác sẽ được đặt rải ra ở bang Louisana và bang Washington (Mỹ) cũng như ở Nhật Bản, mỗi nơi đặt hai giao thoa kế. Một mạng lưới toàn cầu (các giao thoa kế) sẽ là cần thiết để bảo đảm rằng các sóng hấp dẫn đúng là từ Vũ trụ đến. Và nếu đúng như thế, thì tám giao thoa kế này phải đồng thời phát hiện được. Trái lại, nếu chỉ là nhiễu loạn có tính địa phương, thì chỉ một giao thoa kế nhạy cảm với nó mà thôi. Nhờ có mạng toàn cầu, các nhà vật lý thiên văn của thế kỷ XXI có thể tham dự, như là họ có mặt tại chỗ, sự gặp nhau và hòa nhập của các lỗ đen và các ngôi sao nơtron, cũng như sự ra đời của các lỗ đen siêu nặng.

Trong khi chờ đợi, bạn không nên nghĩ rằng các sóng hấp dẫn chỉ là những phát minh thuần túy trừu tượng, chỉ sống trong trí tưởng tượng quá ư phóng túng của các nhà vật lý. Sự tồn tại trên bầu trời một cặp sao nơtron được gọi là "pulsar đôi" (như bạn đã biết ở trên, các sao nơtron cũng còn được gọi là pulsar) đã thuyết phục các nhà vật lý thiên văn tin rằng các sóng hấp dẫn là có thật. Hai pulsar này cách nhau khoảng 700.000 km, tức là gần bằng bán kính Mặt trời, đã nhập vào một vũ điệu quay cuồng, pulsar này quay quanh pulsar kia, cứ một vòng hết 8 giờ. Trong khi quan sát kỹ, hết năm này sang năm khác, vũ điệu ma quái của pulsar đôi đó, các nhà vật lý thiên văn đã phát hiện ra rằng chuyển động của nó được gia tốc chút ít, khoảng 2,7 phần tỷ trong một năm. Sự tăng

tốc này chỉ có thể hiểu được nếu, hoàn toàn giống như lực hấp dẫn đã làm đối với cặp lỗ đen, mỗi pulsar rơi theo đường xoắn ốc về phía pulsar kia đồng thời phát ra sóng hấp dẫn, giống hệt như đối với một lỗ đen đôi. Các sóng hấp dẫn phát ra đã lấy đi năng lượng của cặp pulsar, khiến cho chúng tiến lại gần nhau và làm gia tốc chuyển động quỹ đạo của chúng.

Con đường dẫn đến sự thống nhất

Vậy là cuộc thám hiểm của chúng ta vào thế giới huyền ảo của các lỗ đen đã đến hồi kết thúc. Trong khi để cho các nguyên lý về cái đẹp và cái tao nhã dẫn dắt và để cho các ý tưởng về hài hòa và đối xứng lôi cuốn, các nhà vật lý đã nhận ra sự thống nhất của Tự nhiên. Họ đã khám phá ra những mối liên hệ mật thiết giữa các hiện tượng vốn tưởng như chẳng có gì là tương tự nhau cả. Cùng với sự tiến bộ của vật lý học, sự thống nhất của Tự nhiên cũng ngày càng trở nên rõ rệt hơn. Giấc mơ mô tả Tự nhiên một cách thống nhất ngày càng đến gần.

Vào thế kỷ XVII, Newton đã mở ra con đường đi đến thống nhất, bằng cách quét sạch các ý tưởng của Aristoteles về Đất và Trời bị chi phối bởi các định luật khác nhau, và bằng cách nhấn mạnh một thực tế là Mặt trăng xoay quanh Trái đất hay quả táo rơi trong vườn đều bị chi phối bởi cùng một định luật, đó là định luật vạn vật hấp dẫn. Ông đã thống nhất Đất với Trời. Sau này, người ta nhận ra rằng âm thanh chỉ là chuyển động sóng của không khí, nghĩa là âm học đã được thống nhất với cơ học Newton. Đến thế kỷ XIX, Maxwell đã thực hiện được sự thống nhất lớn giữa điện và từ. Ông đã chứng minh rằng các hiện tượng này chỉ là hai mặt của cùng một thực tại duy nhất. Khi phát hiện ra rằng các sóng điện

từ trên thực tế chỉ là một loại sóng ánh sáng mà thôi, ông đã hợp nhất được quang học dưới ngọn cờ của điện từ học. Đầu thế kỷ XX, khi nhấn mạnh rằng ánh sáng luôn chuyển động với cùng một vận tốc và rằng các định luật của vật lý không thay đổi bất kể người quan sát chuyển động như thế nào, Einstein đã thống nhất được thời gian với không gian. Song, trong lúc nghiền ngẫm về thời gian giãn nở và không gian co lại, thì các đồng nghiệp của ông đã có những đột phá đầu tiên vào thế giới các nguyên tử. Họ đã khám phá ra (cũng có sự trợ giúp ít nhiều của Einstein) một thế giới kỳ lạ, trong đó các định luật đã nhạo báng cả lương tri chẳng kém gì thuyết tương đối, và cũng trong đó, quyết định luận bị loại bỏ và cái ngẫu nhiên trở thành thống trị.

Và bây giờ chúng ta hãy thâm nhập vào cái thế giới kỳ lạ đó của các nguyên tử.

CHƯƠNG NĂM

NHỮNG ĐIỀU KỲ LẠ TRONG THẾ GIỚI CÁC NGUYÊN TỬ

Một thế giới màu sắc

Chúng ta sống trong một thế giới đầy màu sắc: màu xanh lơ của da trời, màu hồng tinh tế của một bông hoa, màu xanh mát của một chiếc lá hoặc màu đỏ rực của cảnh hoàng hôn. Những màu sắc đó đem lại sự tươi mát cho tâm hồn chúng ta, làm cho cuộc sống của chúng ta đáng yêu biết bao. Nhờ đâu mà chúng ta được hưởng một lễ hội những sắc màu rực rỡ và đa dạng như thế? Cho đến đầu thế kỷ XX, chúng ta vẫn còn chưa biết gì về điều đó. Và chỉ khi phát hiện ra cấu trúc của các nguyên tử, bấy giờ chúng ta mới có câu trả lời.

Ý tưởng cho rằng vật chất được cấu tạo bởi các nguyên tử, ngày nay ai cũng thấy đó là chuyện đương nhiên. Tuy vậy, sự đương nhiên ấy phải mất rất nhiều thời gian mới khẳng định được. Ý tưởng cho rằng tất cả mọi hiện tượng tự nhiên đều có thể giải thích được, xuất phát từ một thành tố cơ bản, đã ra đời cùng với biết bao ý tưởng khác, bắt nguồn từ nền văn minh phương Tây tại Hy Lạp. Ở thành phố Milet, Ionie, vào thế kỷ thứ VI trước CN,

Thales (625-547 trước CN) đã cho rằng chất cơ bản là nước, trong khi Anaximenes (thế kỷ VI trước CN) lại cho rằng đó là không khí. Cả hai bậc tiền bối này đều xa sự thật. Một thế kỷ sau, Democritus (460-370 trước CN) và Leucippus (460-370 trước CN) đã đưa ra một ý tưởng cách mạng cho rằng mọi vật chất đều cấu thành bởi các hạt không thể phân chia được nữa và vĩnh cửu, mà các ông gọi là nguyên tử (tiếng Hy Lạp nguyên tử là *atomos* - có nghĩa là không thể phân chia được nữa). Vì không có các bằng chứng thực nghiệm, nên mọi chuyện vẫn chỉ dừng lại ở đó trong suốt 21 thế kỷ tiếp theo. Ý tưởng về nguyên tử bị che lấp dần, rồi nhường chỗ cho ý tưởng về bốn yếu tố cơ bản của Aristoteles (384-322 trước CN), đó là nước, không khí, đất và lửa. Rồi biết bao biến cố đã xảy ra sau đó: Hy Lạp bị sáp nhập vào đế quốc La Mã; sự suy tàn của văn minh Hy Lạp; những cuộc xâm lược liên tiếp của các tộc dã man, Goths và Huns; sự suy yếu của đế quốc La Mã, và song song với các biến cố đó là sự cất cánh của đế quốc Ả Rập. Đế quốc này đã giành lấy bó đuốc văn minh và khoa học để rồi lại phải chuyển bó đuốc đó cho Châu Âu Phục Hưng.

Cho mãi đến năm 1600 ý tưởng về nguyên tử mới lại nổi lên. Được khích lệ từ tác phẩm *Về bản chất sự vật* của nhà thơ Latin Lucrece (98-55 trước CN), qua đó trình bày những ý tưởng của Leucippus và của Democritus về nguyên tử, triết gia Pháp Pierre Gasenti (1592-1655) đã kêu gọi sự cần thiết phải làm thí nghiệm để kiểm chứng giả thuyết về nguyên tử. Và lời kêu gọi của ông đã được hưởng ứng. Nhà vật lý và hóa học người Ailen Robert Boule (1627-1691), vào năm 1662, đã đưa ra kết luận rằng định luật về tính chịu nén của khí chỉ có thể hiểu được nếu khí được cấu thành từ các nguyên tử. Nhà hóa học Pháp Antoine de Lavoisier (1743-1794) đã đạt được một bước tiến mới trong việc chứng minh sự

tồn tại của nguyên tử. Ông đã phá thủng bức màn bí mật về cấu tạo của không khí và nước, và từ đó chứng minh được rằng chúng được cấu tạo bởi những nguyên tố hóa học được kết hợp với nhau theo một tỷ lệ luôn luôn không đổi (thật bất hạnh thay, những công trình xuất sắc của ông trong hóa học đã không cứu nổi ông thoát khỏi lưỡi dao máy chém, vì ông còn là nghị sĩ). Vào năm 1808, nhà hóa học Anh John Dalton (1766-1844) đã đưa ra kết luận rằng hành trạng của các nguyên tố hóa học chỉ có thể hiểu được nếu mỗi nguyên tố đó được tạo nên bởi một loại nguyên tử duy nhất, được đặc trưng bởi một "trọng lượng nguyên tử" riêng có của nó.

Về thứ tự trong các nguyên tố hóa học hay bảng tuần hoàn

Năm 1869, nhà hóa học Nga Dmitri Mendeleev (1834-1907) đã thành công trong việc sắp xếp thứ tự trong tập hợp các nguyên tố hóa học với số lượng dường như ngày một tăng thêm và nhân lên. Ông sắp xếp chúng theo thứ tự trọng lượng nguyên tử. Như có phép thần, các nguyên tố có cùng những tính chất hóa học đều hợp lại thành nhóm gồm bảy nguyên tố xếp trong cùng một cột. Sự xếp thành cột này chỉ có thể hiểu được nếu mỗi nguyên tố hóa học được tạo nên bởi chỉ một loại nguyên tử. Tập hợp các cột này tạo thành cái mà ngày nay người ta gọi là "bảng tuần hoàn" các nguyên tố hóa học, thường vẫn được treo trên tường các lớp học của các trường trung học. Khi Mendeleev lập bảng liệt kê, người ta mới chỉ biết có 63 nguyên tố. Như vậy là hồi đó còn có những ô phải bỏ trống. Song Mendeleev đã tin vào phương pháp sắp xếp thứ tự các nguyên tố của ông tới mức ông đã không ngần ngại tuyên bố rằng nếu tất cả các ô chưa được lấp đầy thì không phải

là tự nhiên không ưa thích một số nguyên tố hóa học nào đó, mà chẳng qua là vì con người chưa phát hiện ra chúng đấy thôi. Và ông đã có lý: cùng với sự khám phá ra những nguyên tố mới, các ô bỏ trống dần dần cũng đã được lấp đầy. Điều này đã làm cho Mendeleev trở nên nổi tiếng khắp thế giới, trừ nước Nga, vì Nga hoàng đánh giá không cao những quan điểm chính trị quá tự do của ông...

Trong khi đó, những dấu hiệu vẫn tiếp tục được tích tụ, có lợi cho sự tồn tại của các nguyên tử.

Trước hết, vào nửa cuối thế kỷ XIX, nhà vật lý Anh James Maxwell (1831-1879) và ít lâu sau đó là nhà vật lý Áo Ludwig Boltzmann (1844-1906) cùng nhà vật lý Mỹ Willard Gibbs (1839-1903) - những người chuyên nghiên cứu nhiệt động lực học, tức khoa học về nhiệt - đã chứng minh được rằng tính chất của các chất khí, đặc biệt là nhiệt độ của chúng, có thể hiểu được nếu chúng được cấu tạo bởi các nguyên tử. Thực vậy, nhiệt được gây bởi chuyển động của các nguyên tử: trong không khí nóng, các nguyên tử chuyển động với vận tốc lớn và chúng sẽ chuyển động chậm chạp đi rất nhiều, nếu không khí bị lạnh đi. Chẳng hạn, không khí nóng của sa mạc Sahara làm cháy da bạn, đó là bởi vì các phân tử không khí bị đốt nóng bởi ánh nắng chói chang ở đó đã đập vào da bạn với tốc độ cao. Trái lại, các nguyên tử trong gió mát sẽ làm lạnh da bạn, vì chúng chuyển động chậm chạp hơn. Theo cách nhìn đó thì vật chất không thể lạnh xuống dưới không độ tuyệt đối (-273^{o}C), bởi vì ở nhiệt độ đó chuyển động của các nguyên tử đều bị đông cứng lại.

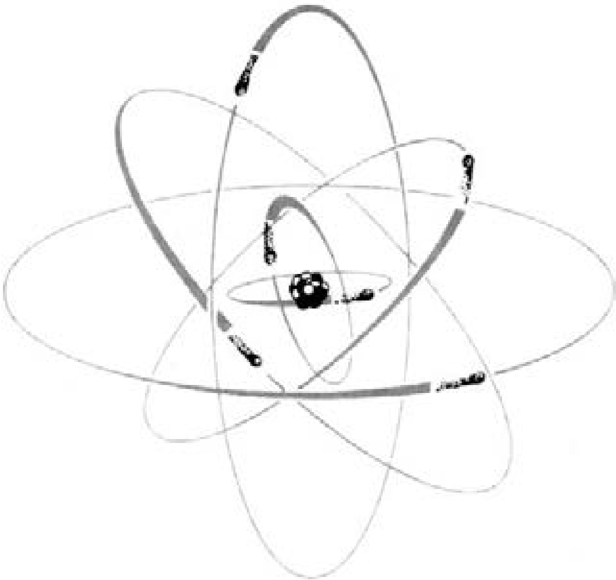
Sau nữa, việc các nguyên tố hóa học được sắp xếp thứ tự theo trọng lượng nguyên tử trong bảng tuần hoàn Mendeleev cho thấy rằng các nguyên tử có mức độ phức tạp khác nhau, các nguyên tử

nặng nhất là những nguyên tử phức tạp nhất. Như vậy, nguyên tử không thể là đơn vị cơ bản như Democritus và Leucippus đã nghĩ. Nó phải có một cấu trúc bên trong và được cấu tạo bởi những hạt còn cơ bản hơn nữa. Song, cho đến thời kỳ đó, chưa có ai nhìn thấy nguyên tử cả, nên lại càng không thấy được cấu trúc bên trong của nó. Những bằng chứng thực nghiệm đầu tiên về cấu trúc bên trong nguyên tử được đưa ra vào năm 1897, khi nhà vật lý Anh Joseph Thomson (1856-1940) phát hiện ra electron trong quá trình nghiên cứu sự phóng điện trong chất khí. Sở dĩ hạt mới này được đặt tên là *electron* bởi vì electron trong tiếng Hy Lạp có nghĩa là hổ phách, mà người Hy Lạp đã khám phá ra rằng hổ phách có khả năng hút đẩy bí hiểm đối với các vật nhẹ khi người ta cọ xát nó với len. Mỗi electron đều mang điện tích, và số lượng electron trong mỗi nguyên tử thay đổi tùy theo bản chất của nguyên tử đó. Số lượng này tương ứng với số thứ tự của ô mà nguyên tố hóa học đó được xếp trong bảng tuần hoàn Mendeleev. Chẳng hạn, nguyên tử liti có 3 electron chiếm ô thứ 3, nguyên tử bo có 5 electron chiếm ô thứ 5 và cứ tiếp tục như thế. Sự tương ứng này không phải là chuyện ngẫu nhiên. Electron đích thực là một viên gạch cơ bản của vật chất.

Hạt nhân cứng như thép

Vào đầu thế kỷ XX, các nhà vật lý đã nỗ lực gấp bội để chọc thủng bức màn bí mật còn che phủ cấu trúc của vật chất. Để làm việc đó, không có cách nào tốt hơn là phá vỡ nó thành nghìn mảnh, bằng cách dùng những viên đạn cực nhanh bắn phá nó. Năm 1910, nhà vật lý Anh Ernest Rutherford (1871-1937) đã dùng các hạt có năng lượng lớn bắn phá các lá vàng dát mỏng. Một sự bất ngờ đã xảy ra: đại bộ phận các hạt đã xuyên qua lá vàng như chẳng có trở

lực gì, nhưng có một tỷ lệ rất ít hạt (1 trên 8000) bị phản xạ và quay trở lại điểm xuất phát. Tình hình trên thật chẳng khác gì chuyện một viên đạn đại bác bắn ra bị một tờ giấy làm cho bắn ngược trở lại! Cho tới lúc đó các nhà vật lý vẫn nghĩ rằng các nguyên tử được xếp trong một vật rắn cũng tựa như như những quả cam bị xếp trong sọt vậy: chúng chiếm hầu hết không gian và chỉ để lại những khe hở nhỏ. Nhưng nếu quả thực như vậy, thì không có một hạt nào bắn đi với hết tốc lực về phía lá vàng lại bị hất ngược trở lại cả. Lẽ ra chúng đã phải xuyên qua lá vàng một cách dễ dàng, giống như viên đạn xuyên qua quả cam vậy. Rutherford thấy cần phải



Hình 47. *Mẫu nguyên tử của Rutheford*. Các electron quay xung quanh một hạt nhân có kích thước cỡ 10^{-13}cm. Hạt nhân chứa hầu hết khối lượng của nguyên tử. Không gian trong đó các electron chuyển động có kích thước cỡ 10^{-8}cm, tức là lớn gấp 100.000 lần kích thước hạt nhân. Vì thể tích nguyên tử lớn gấp một triệu tỷ lần thể tích hạt nhân, nên vật chất hầu như hoàn toàn là chân không.

làm rõ chuyện này: như vậy bên trong nguyên tử ắt phải có một hạt nhân rất đặc và rất rắn, khiến cho một số hạt đập vào phải bắn ngược trở lại. Hạt nhân này cũng phải chiếm một thể tích rất nhỏ so với toàn bộ thể tích nguyên tử, bởi vì đại đa số các hạt bắn tới đã không chạm vào nó và đi qua lá vàng không có trở ngại gì. Ngày nay chúng ta biết rằng một hạt nhân nguyên tử có kích thước cực nhỏ, chỉ bằng một phần mười nghìn tỷ xentimét (10^{-13}cm), tức là bằng 100.000 lần nhỏ hơn đường kính một nguyên tử (10^{-8}cm). Như vậy, hạt nhân nguyên tử chỉ chiếm một phần triệu tỷ thể tích một nguyên tử (H. 47). Một hạt nhân trong nguyên tử cũng tựa như một hạt gạo trên một sân bóng đá. Những vật rắn bao quanh ta, cuốn sách mà bạn đang cầm trong tay, chiếc ghế ta đang ngồi, tất cả "gần như chỉ là trống rỗng".

Với các kết quả thí nghiệm trong tay, Rutherford đã đưa ra một mẫu nguyên tử, tựa như một Hệ Mặt trời thu nhỏ, trong đó hạt nhân là Mặt trời và electron là các hành tinh (chính vì vậy mẫu này còn được gọi là mẫu hành tinh nguyên tử - ND). Song một mô hình như vậy không tương ứng với thực tế, vì các nguyên tử khi đó sẽ không sống lâu. Thực tế, các định luật vật lý cổ điển nói rằng các electron, khi quay quanh hạt nhân, do có gia tốc nên phải phát ra ánh sáng, làm cạn dần năng lượng chuyển động của chúng và rơi rất nhanh theo đường xoắn ốc vào hạt nhân. Nguyên tử sẽ tự nó suy sụp trong vòng một phần triệu giây, chưa đầy một chớp mắt! Thế nhưng, chúng ta chưa hề thấy các vật nối tiếp nhau tự suy sụp, mà trái lại, chúng vẫn bình thản tồn tại trong nhiều năm. Vậy thì làm thế nào để giữ được các electron tại chỗ? Làm thế nào để chúng không mất đi năng lượng và rơi vào hạt nhân? Làm thế nào để các vật rắn giữ được tính vững chắc của chúng? Để trả lời những câu hỏi đó cần phải đi tìm các nguyên lý vật lý mới.

Những hạt ánh sáng

Nhà vật lý trẻ, mới 27 tuổi, người Đan Mạch tên là Niels Bohr (1885-1962) đã chấp nhận thách thức đó vào năm 1913. Để khám phá bí mật của sự bền vững của các nguyên tử, Bohr đã phải viện đến phát minh tuyệt vời của nhà vật lý Đức Max Planck, được công bố năm 1900, khởi đầu cho thế kỷ XX. Planck đã chuyên tâm nghiên cứu vấn đề, mà nhìn bề ngoài có vẻ khá đơn giản: đó là vấn đề bức xạ được phát ra từ một vật thể được nung nóng đến một nhiệt độ nào đó. Ngay lập tức Planck đã vấp phải một trở lực lớn: theo các phương trình của vật lý cổ điển thì một vật nóng như thế phải phát ra một lượng vô hạn ánh sáng trong vùng tử ngoại. Điều này hiển nhiên là hết sức vô lý. Bởi lẽ, nếu quả thực có vô hạn các ánh sáng tử ngoại, thì các lò nướng đã bùng nổ như các quả bom nguyên tử khi chúng ta đốt nó. Thực tế hoàn toàn không có chuyện như vậy! Để thoát ra khỏi cái nghịch lý "tai họa tử ngoại" đó và làm cho lý thuyết phù hợp với thực tế, Planck đã nảy ra một giải pháp: thừa nhận rằng năng lượng phát xạ không phải là một đại lượng liên tục, mà nó có cấu trúc gián đoạn. Nó tồn tại dưới dạng các "hạt" hay các "lượng tử". Mỗi hạt ánh sáng này mang một năng lượng bằng tích của một hằng số (mà ngày nay được gọi là hằng số Planck) với tần số của bức xạ (tần số là số các đỉnh sóng ánh sáng đi qua một điểm trong không gian, trong một giây). Xét cho cùng, Planck tự nhủ, nếu như vật chất có đặc tính hạt, nếu nó đã là gián đoạn, thì tại sao ánh sáng lại không như thế?

Einstein, nhà cách mạng, đã không ngần ngại. Ông lập tức khai thác ý tưởng này của Planck để giải thích hiệu ứng quang điện. Bản chất của hiệu ứng này là ở chỗ: khi chiếu ánh sáng thích hợp vào bề mặt các kim loại, nó sẽ làm cho các electron bắn ra từ bề mặt kim loại đó. Điều kỳ lạ là năng lượng của các electron bắn ra

không phụ thuộc vào cường độ ánh sáng mà chỉ phụ thuộc tần số của nó thôi. Một ánh sáng có tần số cao như tia tử ngoại làm bắn ra những electron có năng lượng lớn hơn rất nhiều so với một ánh sáng có tần số thấp như sóng vô tuyến. Kết quả này chỉ có thể hiểu được nếu ánh sáng do kim loại hấp thụ được cấu thành từ các hạt, mà ngày nay người ta gọi là "photon". Các photon được kim loại hấp thụ sẽ truyền năng lượng của chúng cho các electron bắn ra. Một ánh sáng có tần số cao chứa những photon có năng lượng lớn (năng lượng của photon tỷ lệ thuận với tần số), vì vậy sẽ làm bắn ra những electron có năng lượng cao hơn.

Những ô kính màu của nguyên tử

Với một nỗ lực phi thường của trí tưởng tượng, Bohr đã tiến hành kết hợp mẫu hành tinh nguyên tử của Rutherford với các lượng tử của Planck. Ông chấp nhận ý tưởng của Rutherford cho rằng các electron ngoan ngoãn quay quanh hạt nhân nguyên tử, song ông thêm vào ý tưởng về tính gián đoạn của Planck. Không chỉ ánh sáng là gián đoạn mà những quỹ đạo của các electron cũng như vậy. Những quỹ đạo này mang dáng dấp "lượng tử". Các electron không thể quay quanh hạt nhân nguyên tử bất cứ chỗ nào chúng thích nữa, mà buộc phải theo những quỹ đạo rất xác định và ở cách hạt nhân những khoảng cũng rất xác định. Nhưng làm thế nào có thể chứng minh sự đúng đắn của một mô hình như thế? Làm thế nào để bảo đảm rằng các electron hoạt động đúng như vậy? Nếu trong khoa học, nghệ thuật là ở chỗ biết nhìn thấy những mối liên hệ mà trước đó chưa phải là đương nhiên, thì Bohr đích thực là một nghệ sĩ với ý nghĩa thuần khiết nhất của từ này. Ông nhận thấy rằng có một cửa sổ qua đó ông có thể quan sát được hành trạng của các nguyên tử, một cửa sổ với những ô kính được

trang trí bằng các họa tiết hết sức phong phú và rực rỡ sắc màu, không kém gì những ô cửa sổ đẹp đẽ nhất trong các nhà thờ gôtic. Những ô kính màu này của nguyên tử chính là quang phổ của nó. Người ta có thể có được quang phổ của nguyên tử bằng cách phân tích ánh sáng do nguyên tử phát ra thành nhiều thành phần khác nhau về năng lượng hay màu sắc.

Tất cả chúng ta đều đã từng bị quyến rũ bởi vẻ đẹp của cầu vồng, một đường vòng cung nhiều màu sắc thường xuất hiện sau cơn mưa rào ở phía đối diện với Mặt trời. Cầu vồng không gì khác chính là quang phổ của ánh sáng trắng của Mặt trời. Ánh sáng ấy đã được các giọt nước mưa phân tách thành nhiều màu khác nhau, theo thứ tự năng lượng tăng dần của ánh sáng: đỏ, cam, vàng, lục, lam, chàm và tím. Sự chuyển tiếp giữa các màu sắc nói ở trên là liên tục. Nó diễn ra dần dần và không thấy một khe hở nào làm xấu đi cái cấu trúc tuyệt đẹp này của ánh sáng. Đối với ánh sáng do nguyên tử phát ra thì lại khác. Quang phổ của nó không liên tục mà bị băm thành nhiều vạch thẳng đứng. Ánh sáng nhìn thấy do nguyên tử hyđrô - nguyên tố hóa học đơn giản nhất, nhẹ nhất và có nhiều nhất trong vũ trụ - phát ra được đặc trưng bởi 3 vạch màu rực rỡ: một vạch đỏ, một vạch lam và một vạch chàm. Bohr giải thích rằng sự gián đoạn này của ánh sáng có liên quan đến sự gián đoạn của các quỹ đạo electron trong nguyên tử hyđrô. Mỗi vạch nói trên được sinh ra bởi một sự giải phóng năng lượng. Mỗi một lần nguyên tử hyđrô phát ra một hạt ánh sáng là một lần electron độc nhất của nó thực hiện một bước nhảy lượng tử từ một quỹ đạo xa hạt nhân hơn về một quỹ đạo gần hơn. Năng lượng của hạt ánh sáng được giải phóng đúng bằng hiệu năng lượng của quỹ đạo xuất phát và năng lượng của quỹ đạo đến. Chẳng hạn, vạch đỏ xuất hiện khi electron nhảy từ quỹ đạo thứ ba về quỹ đạo thứ hai; vạch

lam sinh ra khi electron nhảy từ quỹ đạo thứ tư về quỹ đạo thứ hai; và vạch chàm xuất hiện khi nó nhảy từ quỹ đạo thứ năm về quỹ đạo thứ hai. Vì vậy, sự sắp xếp các vạch sáng trong quang phổ là sự phản ánh trung thực nhất sự sắp xếp các quỹ đạo của electron trong nguyên tử. Sự sắp xếp này là duy nhất đối với mỗi nguyên tố. Nó giống như một loại vân tay, một loại thẻ căn cước của mỗi nguyên tố hóa học. Giống như Sherlock Holmes nhận diện bọn tội phạm bằng dấu vân tay mà chúng để lại, các nhà vật lý thiên văn có kinh nghiệm nhận diện các nguyên tố hóa học có mặt trong khí quyển một ngôi sao theo sự sắp xếp các vạch trong quang phổ của ngôi sao đó. Chính nhờ các quang phổ này với ánh sáng của chúng được băm thành các vạch, mà người ta đã phát hiện ra thành phần hóa học của các ngôi sao, các thiên hà và toàn thể Vũ trụ.

Giống như những ô kính màu rực rỡ để cho ánh nắng bên ngoài lọt qua và đi vào một nhà thờ gôtic, quang phổ cho phép chúng ta nhìn thấu bên trong tòa lâu đài của nguyên tử và vén lên bức màn bí mật che giấu cấu trúc bên trong của nó. Thế giới mới của nguyên tử cũng được chi phối bởi các định luật toán học như thế giới của cơ học cổ điển do Newton phát hiện cách đây hai thế kỷ. Toán học vẫn tiếp tục gắn bó với những đường nét đại thể của Tự nhiên, kể cả ở những thang nhỏ bé nhất. Song kỷ nguyên của tính liên tục trong thế giới của các nguyên tử đã qua rồi. Từ nay, tính gián đoạn hay nguyên lý lượng tử sẽ chiếm ưu thế. Một cuộc cách mạng rất triệt để: tựa như một chính phủ độc tài đột nhiên ra sắc lệnh buộc mọi người chỉ được đi mỗi bước với độ dài 20, 30 hoặc 35cm, nếu ai bước những bước khác đi sẽ bị kết án tử hình. Bằng cách cấm các electron không được mượn các quỹ đạo tùy ý, Bohr đã ngăn cản chúng rơi theo đường xoắn ốc về phía hạt nhân, và như vậy đã cứu được các nguyên tử không bị suy sụp. Tuy nhiên, nếu mẫu nguyên

tử của ông đã giải thích được rất tốt quang phổ của các nguyên tử, thì những vấn đề đặt ra còn xa mới giải đáp được hết. Thực tế, mẫu nguyên tử này là một sự hỗn hợp lạ lùng của vật lý cổ điển và vật lý lượng tử. Chừng nào các electron còn ngoan ngoãn đi theo quỹ đạo xung quanh hạt nhân nguyên tử, thì chúng còn tuân theo những định luật cơ học cổ điển của Newton và Kepler, giống như các hành tinh của Hệ Mặt trời. Nhưng ngay khi các electron quyết định nhảy từ một quỹ đạo này sang một quỹ đạo khác, đột nhiên chúng sẽ phải tuân theo các quy tắc mới của cơ học lượng tử. Tất cả những điều đó còn thiếu một sự gắn kết và nhất quán.

Tại sao hoa hồng lại hồng?

Mặc dù còn gặp những khó khăn về mặt khái niệm, nhưng mẫu nguyên tử của Bohr đã cho phép chúng ta giải thích được nhiều sự kiện có liên quan đến các tính chất của vật chất, đặc biệt là những màu sắc phong phú bao quanh chúng ta. Tại sao hoa hồng lại màu hồng, hoa mào gà lại đỏ, phấn viết bảng lại trắng? Câu trả lời nằm ngay trong cấu trúc nguyên tử của vật chất tạo ra chúng. Chúng ta tương tác với Vũ trụ thông qua ánh sáng và vật chất. Được cấu tạo từ các proton và electron, chúng ta đều là những bản thể điện từ, liên lạc với thế giới bên ngoài bằng các sóng điện từ. Đại bộ phận kinh nghiệm mà con người có được đều là do sự phản xạ của ánh sáng Mặt trời trên các vật thể tồn tại quanh ta. Chẳng hạn, ánh trăng dịu dàng phản xạ từ mặt nước hồ bình lặng có nguồn gốc từ các hạt sáng sinh ra tại nhân của Mặt trời, nơi sục sôi diễn ra các phản ứng nhiệt hạch. Các hạt ánh sáng này xuất hiện ở bề mặt của Mặt trời sau một triệu năm và đến đùa giỡn với các electron đang nhảy nhót trong các nguyên tử silic và oxi - những thành phần cấu tạo nên các khối đá trên bề mặt gồ ghề của Mặt trăng.

Tiếp đó, chúng đến thăm một hồ nước trên Trái đất, lướt nhảy trên mặt nước trong xanh và chơi đùa với những electron trong các nguyên tử hyđrô và ôxy liên kết với nhau trong phân tử nước. Rồi cuối cùng chúng tới kích thích những đám mây electron trong các chuỗi protein bên trong võng mạc của mắt ta.

Cũng như mặt hồ phản chiếu hình ảnh chị Hằng, hoa hồng với những đường nét tinh tế của nó làm cho ta yêu thích là nhờ có ánh sáng Mặt trời mà hoa phản chiếu vào mắt chúng ta. Nhưng bạn có thể phản đối rằng ánh sáng Mặt trời màu trắng, vậy thì tại sao hoa hồng lại không trắng như thế? Câu trả lời nằm ngay trong các nguyên tử của hoa hồng. Ánh sáng trắng, như chúng ta đã thấy khi nói về cầu vồng, là một hỗn hợp nhiều màu sắc từ đỏ đến tím. Hoa hồng hấp thụ màu xanh và màu tím, nó chỉ phản chiếu màu đỏ, và màu này trộn với màu trắng cho màu hồng. Nhưng tại sao hoa hồng lại hấp thụ màu xanh và tím? Đó là do sự sắp xếp các quỹ đạo của electron trong nguyên tử và phân tử của hoa hồng. Muốn cho một nguyên tử hoặc phân tử hấp thụ ánh sáng, electron phải làm một bước nhảy lượng tử, từ một quỹ đạo có năng lượng thấp ở gần hạt nhân nguyên tử hơn đến một quỹ đạo khác có năng lượng lớn hơn và ở xa hạt nhân hơn. Năng lượng (hay màu sắc) của ánh sáng bị hấp thụ đúng bằng hiệu năng lượng của hai mức này. Rõ ràng là có một số quỹ đạo electron trong các nguyên tử hoa hồng đã được sắp xếp sao cho hiệu năng lượng của chúng tương ứng chính xác với năng lượng của các màu xanh và tím. Vì vậy mà các màu đó được hấp thụ. Trái lại, không có các quỹ đạo nào mà hiệu năng lượng của chúng tương ứng với năng lượng của màu đỏ cả. Vì thế màu này không bị hấp thụ và nó còn nguyên vẹn tới kích thích võng mạc nơi mắt chúng ta. Và do vậy mà hoa hồng có màu hồng.

Cũng tương tự như thế, viên phấn có màu trắng là bởi vì các phân tử của nó chứa những quỹ đạo electron mà hiệu năng lượng của chúng không tương ứng với bất kỳ một năng lượng nào của bảy sắc cầu vồng. Toàn bộ các màu của ánh sáng trắng đều bị viên phấn phản chiếu trở lại, vì vậy mà chúng ta thấy nó màu trắng.

Như vậy là sự đa dạng của cấu trúc các nguyên tử và phân tử cấu thành nên vật chất chính là nguyên nhân gây ra sự phong phú của các sắc màu xung quanh ta và làm cho cuộc sống của chúng ta thêm phần thi vị. Những màu da cam và tím nhạt của các quả táo trong những họa phẩm của Cézanne, hay màu xanh da trời trong các bức tranh của Monet làm sao có được, nếu như không có sự đa dạng kỳ diệu của các nguyên tố hóa học tạo nên sơn màu mà các họa sĩ tài ba đã dùng để sáng tạo ra các tuyệt phẩm của họ. Thế giới sẽ buồn tẻ biết bao, nếu như tất cả các nguyên tử đều có cùng một cấu trúc. Ví dụ, nếu như toàn bộ vật chất đều có cấu trúc các nguyên tử giống như của phấn viết, thì chúng ta sẽ phải sống trong một thế giới trắng toát. Chẳng những viên phấn có màu trắng mà cả hoa mào gà ngoài đồng nội, những cánh bướm trong vườn hoa, tất cả đều mất đi các sắc màu rực rỡ của chúng và chỉ còn lại một màu trắng buồn tẻ và đơn điệu.

Sóng electron

Nhân vật tiếp theo sắp bước lên sân khấu trong câu chuyện lượng tử là nhà vật lý Pháp Louis de Broglie (1892-1987). Einstein là người đã từng gán cho ánh sáng một gương mặp kép: bên cạnh bản chất sóng của nó, ánh sáng còn khoác thêm một gương mặt hạt. Vì ánh sáng có gương mặt kép, tại sao vật chất lại không? De Broglie đã tự hỏi như vậy. Năm 1923 ông đã đề xuất ý tưởng cho

rằng electron ngoài dáng vẻ hạt ra, nó còn khoác bộ áo sóng nữa. Ông cũng cho rằng các quỹ đạo trong một nguyên tử phải có kích thước sao cho chúng có thể tiếp nhận được một số nguyên các sóng electron. Chẳng hạn, quỹ đạo nhỏ nhất, gần hạt nhân nhất, được đặc trưng bởi năng lượng nhỏ nhất, phải có một chu vi đủ lớn để chứa được một bước sóng (tức khoảng cách giữa hai đỉnh sóng liên tiếp). Quỹ đạo thứ hai phải chứa được hai, quỹ đạo thứ ba phải chứa được ba bước sóng, và cứ tiếp tục như thế.

Trực giác thiên tài của de Broglie được nhà vật lý người Áo Erwin Schrodinger (1887-1961) củng cố thêm bằng một cơ sở toán học vững chắc vào năm 1925. Schrodinger đã phát minh ra phương trình sóng của electron (phương trình này cũng có thể áp dụng cho hạt khác bên trong một nguyên tử hoặc một phân tử). Phương trình này hiện nay mang tên ông. Được trang bị phương trình Schrodinger, phương trình mô tả sự tiến triển theo thời gian của sóng electron, các nhà vật lý hăm hở lao vào tính toán: các mức năng lượng nguyên tử, cấu trúc của phân tử và tất cả những gì diễn ra ở đó. Họ đã gặt hái được một vụ mùa bội thu. Và một điều thật kỳ diệu là: các tính toán đều rất khớp với quan sát. Vật chất rõ ràng có tính chất sóng. Đây đúng là thời hoàng kim của cơ học lượng tử, một thời của những đam mê!

Nhưng nếu phương trình sóng của Schrodinger cho phép mô tả các nguyên tử và phân tử, thì không một ai (kể cả cha đẻ của lý thuyết, là Schrodinger và de Broglie) có một chút ý tưởng nào về ý nghĩa của cái mà người ta gọi là sóng của các hạt ấy. Một sóng, tại một thời điểm, được mô tả bằng một bảng kê các con số. Ví dụ, đối với một sóng âm, trong bảng kê này người ta sẽ ghi áp suất của không khí ở mỗi nơi có sóng đi qua. Đối với một sóng ánh sáng, bảng kê sẽ ghi độ lớn và hướng của các điện trường và từ trường,

tại mỗi điểm của không gian. Nhưng các con số đặc trưng cho một sóng electron thì có ý nghĩa quái quỷ gì? Đại lượng nào ở đây dao động và biến thiên như con sóng biển? Để trả lời những câu hỏi đó, ta phải nghiên cứu về mặt lý thuyết hành trạng của một chùm electron (được mô tả bởi một bó sóng) phóng hết tốc lực vào một nguyên tử. Theo phương trình Schrodinger, bó sóng này khi đụng vào nguyên tử sẽ vỡ ra thành nhiều sóng thứ cấp lan truyền về mọi hướng, giống như nước của vòi phun xả vào một bức tường tung tóe ra khắp nơi. Chúng ta phải cắt nghĩa hiện tượng này như thế nào? Nếu sóng electron thật sự là một sóng vật chất, thì sự phân rã của bó sóng thành nhiều sóng thứ cấp nói lên rằng các electron vỡ ra thành nhiều mảnh và các mảnh vụn của chúng bay theo khắp mọi hướng. Kết luận này rõ ràng là phi lý, vì các electron không thể phân chia được. Chúng vẫn nguyên vẹn và giữ được căn cước của mình. Như thế các sóng electron không thể là các sóng vật chất được. Vậy bản chất của chúng là gì? Nhà vật lý người Đức Max Born (1882-1970) đã tìm ra lời giải cho câu đố này. Năm 1926, ông đã đưa ra ý kiến cho rằng sóng do phương trình Schrodinger mô tả không phải là một sóng cụ thể của vật chất lan truyền trong không gian, mà chỉ là một sóng trừu tượng của các xác suất.

Hãy hình dung bạn đang chơi bi-a. Nhờ cây cơ, bạn chọc cho hòn bi này đập vào một hòn bi khác. Sau cú va chạm, hai hòn bi bị bắn ra theo các hướng khác nhau. Và các hướng này hoàn toàn có thể dự đoán trước theo các định luật cơ học cổ điển của Newton, nếu ta biết trước lực đẩy và hướng của hòn bi do người chơi đánh đi. Chính nhờ tính tất định đó của quỹ đạo hòn bi mà trò chơi này mới tiến hành được. Song, trong thế giới nguyên tử, tình hình hoàn toàn khác. Bạn hãy bắn một electron vào một nguyên tử. Sau khi đập vào nguyên tử, quỹ đạo của electron không còn xác

định được nữa. Electron có thể văng ra theo bất kỳ hướng nào. Tuy nhiên, sự bất định đó không có nghĩa là hoàn toàn không có một thông tin nào. Và ở đây phương trình sóng của Schrodinger có vai trò của nó. Phương trình này cho phép chúng ta tính được xác suất tìm thấy electron theo một hướng đã cho, ở nơi này hay nơi kia, sau va chạm. Born cho chúng ta biết rằng xác suất đó đúng bằng bình phương biên độ của hàm sóng (với hàm sóng là nghiệm của phương trình Schrodinger - ND). Khả năng lớn nhất có thể gặp electron là ở các đỉnh sóng và khả năng ít nhất là ở các nút sóng. Có thể là 3 lần trên 4 (xác suất bằng 75%) hoặc 9 lần trên 10 (xác suất bằng 90%) gặp được electron, nhưng xác suất đó không bao giờ có thể đạt 100%. Trong thế giới nguyên tử, tính chắc chắn buồn tẻ và tính tất định bó buộc của cơ học cổ điển đều bị loại bỏ. Và ở đây, tính bất định đầy kích thích và tính ngẫu nhiên phóng khoáng của cơ học lượng tử đã nhập cuộc.

Một thế giới bất định

Cả Schrodinger lẫn de Broglie, những tín đồ trung thành của quyết định luận, đều không hài lòng về cách giải thích xác suất đối với phát minh của họ. Tuy nhiên, ngay trong năm tiếp sau, năm 1927, nhà vật lý trẻ người Đức Werner Heisenberg (1901-1976) đã tăng thêm nguồn sức mạnh cho thuyết bất định. Trong khi suy ngẫm về mối quan hệ giữa vật được quan sát và người quan sát, ông đã đi đến kết luận đáng chú ý: sự nhòe là tính chất cố hữu của thế giới nội nguyên tử và không gì có thể xóa bỏ được nó.

Giả sử rằng cùng một lúc chúng ta muốn đo vị trí và vận tốc của một vật nào đó. Đó là điều dễ dàng trong đời sống hằng ngày. Nếu đi bằng xe hơi, bạn chỉ cần nhìn các biển báo là biết được mình

đang ở đâu, đồng thời liếc nhìn đồng hồ chỉ tốc độ là biết ngay được vận tốc. Về nguyên tắc, bạn có thể đo được dễ dàng vị trí và vận tốc của mình với độ chính xác bao nhiêu cũng được. Song, nếu đi vào thế giới nội nguyên tử, cái quyền ấy của bạn sẽ mất ngay. Heisenberg đã chứng minh rằng có một giới hạn nhất định đối với sự hiểu biết của con người. Để xác định vị trí một hạt, ta cần phải chiếu sáng nó. Nhưng ánh sáng chỉ có thể xác định chính xác những đường bao của vật, nếu bước sóng (khoảng cách giữa hai đỉnh hoặc hai hõm sóng liên tiếp) có thể so với kích thước của vật ấy. Nếu vật quá nhỏ so với bước sóng của tia sáng chiếu vào nó, bạn sẽ chẳng còn phân biệt được gì nữa. Nếu bạn chiếu gương mặt của ai đó bằng ánh sáng radio (tức sóng vô tuyến) với bước sóng dài tới vài mét, ta hoàn toàn không phân biệt được gì hết. Chỉ khi nào ta dùng sóng vô tuyến có bước sóng dài vài xentimét thì tai của người ấy mới rõ được hình thù. Hãy giảm bước sóng ánh sáng xuống dưới một milimét; ánh sáng khi này là ánh sáng hồng ngoại (H. 37). Bây giờ ta mới bắt đầu nhận ra cặp mắt xếch, cái mũi hơi hếch và cái miệng đang cười. Tiếp tục giảm bước sóng xuống chỉ còn vài phần vạn milimét. Lúc này mới là ánh sáng mà mắt ta có thể nhìn thấy. Nó cho phép chúng ta nhận ra từng sợi tóc, những hạt bột phấn trang điểm và cả những nếp nhăn nữa. Hãy giảm hơn nữa bước sóng ánh sáng xuống dưới một phần vạn milimét, ánh sáng bây giờ trở thành tia tử ngoại. Nếu ta nhìn qua kính hiển vi tử ngoại, các tế bào của da sẽ được phóng to lên đến 3.500 lần và ta có thể phân biệt từng nhiễm sắc thể riêng rẽ. Giảm bước sóng tới còn bằng 1 phần trăm triệu milimét, ta sẽ đi vào vùng các tia X. Các tia có năng lượng lớn này xuyên qua cơ thể người ta như không. Đây là một tặng vật mà tạo hóa ban cho các thầy thuốc: nó

cho phép ta nhìn thấy cả bộ xương người, nó cũng cho phép các nha sĩ nhìn thấy những chiếc răng sâu và các nhân viên hải quan kiểm tra hành lý mà không cần phải mở va-li ra.

Để định vị một hạt dưới nguyên tử, chúng ta cũng thử làm như đối với mặt người. Ta chiếu sáng nó bằng ánh sáng có bước sóng cỡ kích thước nguyên tử, tức là khoảng 1 phần mười triệu milimét (10^{-8}cm). Ánh sáng có bước sóng rất nhỏ như thế là tia X. Nhưng trong khi chiếu sáng hạt với một ánh sáng có năng lượng lớn như thế, ta đã làm nhiễu loạn nó, đồng thời cho nó một xung lượng. Điều này làm thay đổi hoàn toàn vận tốc mà nó có trước khi ta quan sát. Như vậy là ta phải đối mặt với một tình thế lưỡng nan. Hoặc là chúng ta định vị hạt với độ chính xác cao nhất có thể làm được, bằng cách chiếu sáng nó với một ánh sáng có bước sóng cực ngắn, tức là có năng lượng cực lớn, do đó gây nhiễu loạn cực mạnh, và chúng ta phải chấp nhận chỉ biết rất ít về vận tốc của nó (ví dụ nếu ta muốn định vị một electron với độ chính xác tới một phần trăm triệu xentimét - tức bằng kích thước của một nguyên tử - thì độ bất định về vận tốc lớn tới mức, một giây sau đó, electron có thể ở bất cứ đâu trong vòng bán kính 1000 kilômét, tức là vượt ra ngoài biên giới của nước Pháp!). Hoặc chúng ta quyết định rằng vận tốc mới là điều ta quan tâm nhất, và ta chiếu sáng hạt bằng ánh sáng ít gây nhiễu động nhất, tức là có rất ít năng lượng và có bước sóng rất dài. Lần này, thì vị trí của hạt bị nhòe nhoẹt hoàn toàn.

Như vậy là các nguyên tử đã áp đặt một giới hạn cho sự hiểu biết của chúng ta. Chúng ta không bao giờ có thể đo được cùng một lúc cả vận tốc và vị trí với độ chính xác nhất có thể. Nguyên lý bất định của Heisenberg buộc ta phải quyết định sự lựa chọn. Sự bất định là tính chất cố hữu của thế giới các nguyên tử. Cho dù có làm cho các dụng cụ đo lường hiện đại và tinh xảo đến đâu đi

nữa, chúng ta vẫn luôn luôn vấp phải cái hàng rào chắn ngang sự hiểu biết của mình.

Sự nhòe lượng tử chiếm lĩnh thế giới nội nguyên tử và xua đuổi quyết định luận vốn được Laplace hết sức ca ngợi. Tạo hóa đòi hỏi chúng ta phải chấp nhận dung sai và phải từ bỏ giấc mộng xưa cũ về tri thức tuyệt đối. Mức độ dung sai được xác định bởi một con số có tên là "hằng số Planck". Heisenberg cho chúng ta biết rằng: tích của độ bất định về vận tốc và độ bất định về vị trí không bao giờ nhỏ hơn hằng số Plank chia cho 2p. Dĩ nhiên, nếu hằng số Planck bằng không, thì vị trí và vận tốc của các hạt có thể được xác định đồng thời với một độ chính xác bao nhiêu tùy ý. Nhưng Tự nhiên đã có một sự lựa chọn khác. Cho dù là cực nhỏ (giá trị của nó bằng $6{,}626.\ 10^{-34}$J.s, tức là số 6626 đứng sau 34 số 0 sau dấu phảy), nhưng hằng số Planck vẫn không phải là số không và nó đã tạo nên một giới hạn tuyệt đối của sự hiểu biết.

Một vấn đề được đặt ra: nếu sự nhòe lượng tử thắng thế trong thế giới nội nguyên tử, tại sao chúng ta lại được chừa ra trong cuộc sống hằng ngày? Bởi vì, xét cho cùng, chúng ta cũng được cấu tạo từ tập hợp nguyên tử kia mà. Tại sao tính bất định vốn ảnh hưởng đến hành vi của các nguyên tử lại không ảnh hưởng gì đến các vật thông thường trong cuộc sống hằng ngày của chúng ta? Câu trả lời nằm ngay trong khối lượng của các vật. Do các vật hằng ngày có khối lượng lớn và vì thế có quán tính lớn, nên chúng không dễ dàng bị nhiễu loạn khi ta chiếu sáng để quan sát chúng. Dù các tia X có năng lượng lớn xuyên qua cơ thể ta một cách dễ dàng, chúng cũng không thể đẩy ta vào tường được. Xung lượng do ánh sáng tạo ra là không đáng kể, vì thế vận tốc của các vật hằng ngày có thể đo được một cách chính xác đồng thời với vị trí của nó. Tính bất định hoàn toàn biến mất. Thật là điều may mắn thay cho sức khỏe

tinh thần của chúng ta, bởi vì nếu không như thế thì ngoài những lo toan đã quá bộn bề để đương đầu với những bất trắc trong cuộc sống hằng ngày, chúng ta sẽ còn phải bận tâm về sự bất định của các vật xung quanh mình nữa.

Các hạt có mặt đồng thời ở khắp nơi

Con người không thể có mặt ở nhiều nơi trong cùng một lúc. Jean không thể vừa có mặt ở Sèvré vừa có mặt ở quảng trường Concorde được. Và cô Ariane cũng không thể vừa ăn sáng ở khu phố Tàu tại cửa ô Choisy, đồng thời ăn sáng tại nhà người chị họ ở cửa ô Versailles được. Jean và Ariane có thể ở đây hoặc ở kia, song họ không thể ở cả hai nơi được. Tuy nhiên, theo cơ học lượng tử, đối với trường hợp hạt dưới nguyên tử, điều đó có thể xảy ra. Khả năng có mặt cùng một lúc ở nhiều nơi đã được phát hiện nhờ một thí nghiệm với electron, phỏng theo thí nghiệm đối với ánh sáng đã được nhà vật lý người Anh Thomas Young (1773-1829) thực hiện vào thế kỷ XVIII. Ông đã chứng minh bản chất sóng của ánh sáng bằng cách chiếu ánh sáng qua hai khe hẹp song song. Hình ảnh của hai khe được chiếu lên một màn ảnh đặt ở phía sau. Young nhận thấy rằng hình ảnh trên màn không chỉ gồm hai vệt sáng song song như trong trường hợp ánh sáng truyền theo đường thẳng; mà nó còn gồm một loạt các vệt sáng song song cách đều nhau xen kẽ với những vùng tối. Sự kế tiếp nhau giữa tối và sáng chỉ có thể được giải thích là do bản chất sóng của ánh sáng. Bộ áo sóng của ánh sáng cho phép nó không phải đi theo đường thẳng khi nó buộc phải đi qua các khe có độ rộng nhỏ hơn khoảng cách giữa hai đỉnh sóng kế tiếp nhau (tức là nhỏ hơn bước sóng ánh sáng - ND). Các sóng sáng đi qua khe bên phải khi đó sẽ hòa trộn

với các sóng đi qua khe bên trái. Trên màn ảnh, ở những chỗ mà sóng từ bên phải cùng pha với sóng từ bên trái, các đỉnh của hai sóng chồng lên nhau, do đó cường độ sáng của chúng tăng cường cho nhau, từ đó tạo nên các vệt (vân) sáng. Trái lại, ở những chỗ trên màn ảnh nơi hai sóng đến ngược pha nhau, các đỉnh của một sóng sẽ chồng lên các hõm của sóng kia. Như vậy chúng tự triệt tiêu nhau, và tạo ra những vùng tối. Các vùng tối và sáng luân phiên nhau, được sinh ra bởi ánh sáng giao thoa nhau, được gọi là "vân giao thoa".

Tất cả những điều đó không mâu thuẫn gì với lẽ thông thường. Sự việc sẽ trở nên thú vị hơn khi chúng ta lặp lại thí nghiệm hai khe của Young, nhưng không phải với ánh sáng, mà với các electron. Ta hãy thay thế nguồn ánh sáng bằng một súng phóng electron giống như trong đèn hình của TV, và thay màn ảnh bằng một dãy máy phát hiện electron. Ta hãy quan sát kỹ hành vi của các electron sau khi chúng đi qua hai khe. Lẽ thường nói với chúng ta rằng trong trường hợp này không thể có các vân giao thoa electron, tức là một dãy giá trị cực đại của số va đập của các electron vào máy thu xen kẽ với những cực tiểu, bởi vì súng bắn các electron dưới dạng hạt chứ không phải dưới dạng sóng. Nhưng khi tiến hành thí nghiệm thì thật bất ngờ, các máy phát hiện đã ghi được một dãy cực đại xen kẽ cực tiểu của những điểm chạm của các electron, giống như các vân sáng và vân tối quan sát được trong trường hợp ánh sáng! Kết luận tất nhiên sẽ là: electron đã bị thay hình đổi dạng một cách căn bản. Vốn là hạt được bắn ra từ súng electron, nó đã biến thành sóng trước khi đi tới hai khe hẹp; ngoài ra sóng electron còn phải thu xếp sao cho nó đồng thời đi qua cả hai khe hẹp, bởi vì giao thoa chỉ có thể xảy ra nếu có sự tương tác của hai sóng tách biệt. Như vậy là nhờ có bộ áo sóng, electron có thể cùng lúc có mặt ở mọi nơi. Quỹ

đạo của nó không còn xác định được nữa. Nghĩa là electron đã bị "nhòe lượng tử". Cũng như Âm bổ sung cho Dương, electron có hai gương mặt bổ sung cho nhau; nó vừa là hạt vừa là sóng. "Nguyên lý bổ sung" này, như Bohr đặt tên cho nó, cùng với nguyên lý bất định của Heisenberg đã chi phối thế giới nội nguyên tử.

Mọi con đường đều dẫn tới Roma

Do sự nhòe lượng tử nên hình ảnh Bohr đưa ra (trong đó thế giới nguyên tử chứa đầy các electron chuyển động trên những quỹ đạo xác định xung quanh hạt nhân nguyên tử, giống như các hành tinh xoay quanh Mặt trời) không còn ý nghĩa nữa. Khái niệm về quỹ đạo từ A đến B bị quét sạch. Ta có thể nói rằng một hạt ở điểm A hoặc điểm B nhưng khó có thể nói nó đi từ A đến B như thế nào. Một chiếc ôtô đi từ Paris đến Marseille qua Lyon. Lộ trình của nó thật rõ ràng. Lộ trình đó đã được chọn sao cho tốn ít thời gian nhất. Nhưng nếu người lái xe lạc vào thế giới nội nguyên tử, khó có thể nói được rằng anh ta phải chọn con đường nào để tốn ít thời gian nhất. Chỉ có thể diễn tả thực tại đó bằng các xác suất. Chẳng hạn, anh ta có thể nói rằng mình đã đi từ Paris đến Marseille với xác suất 90% qua Lyon, 40% qua Clermont Ferrand hoặc 25% qua Bordeaux. Nhưng anh ta không bao giờ biết chắc chắn 100% là mình đã đi qua thành phố nào trong số ba thành phố đó. Mọi con đường đều dẫn đến Roma, nên electron đã mượn tất cả những con đường đó. Trong thí nghiệm hai khe của Young, ta không bao giờ có thể nói chắc được electron đã đi qua khe nào.

Nói rằng cái ngẫu nhiên ẩn giấu ngay trong lòng của vật chất không có nghĩa là mọi hiểu biết đều không thể với tới, cũng như không phải các định luật vật lý không còn chỗ đứng nữa. Trái lại, cơ

học lượng tử đã tiên đoán được nhiều tính chất của vật chất, luôn luôn phù hợp với quan sát. Chỉ có điều những tiên đoán này không bao giờ dựa vào các sự kiện riêng rẽ, mà luôn luôn dựa vào hàng loạt các sự kiện. Giả sử bạn tung một đồng tiền lên không. Các quy luật của xác suất không thể cho bạn biết ở lần tung sau, đồng tiền rơi xuống sẽ sấp hay ngửa. Nó chỉ cho biết nếu bạn tung nhiều lần, thì trung bình nửa số lần đồng tiền rơi xuống sẽ là sấp, và nửa kia là ngửa. Cũng như vậy, trong thế giới nội nguyên tử, một sự kiện riêng biệt không thể được xác định theo quan hệ nhân quả, song hành vi của một tập hợp nhiều sự kiện thì có thể.

Các hạt xuyên tường

Sự nhòe của các quỹ đạo trong thế giới nội nguyên tử dẫn đến những tình huống khó hiểu đối với lẽ thông thường. Trong đời sống hằng ngày, nếu bạn ném hòn sỏi vào một ô cửa kính, hai điều có thể xảy ra: bạn ném không đủ mạnh thì hòn sỏi sẽ bật trở lại, hoặc nếu hòn sỏi được ném đi đủ mạnh thì mặt kính sẽ vỡ tan tành và bạn sẽ làm cho chủ nhà nổi cơn thịnh nộ. Bây giờ ta hãy đi vào thế giới nội nguyên tử. Ta sẽ thay viên sỏi bằng một electron và tấm kính bằng một dãy các nguyên tử chắn ngang đường đi của electron đó. Trong hầu hết các trường hợp, chuyển động của electron giống hệt như viên sỏi. Khi nó chuyển động không nhanh lắm, nó sẽ bị bật trở lại khi gặp rào chắn nguyên tử. Trái lại, khi có đủ năng lượng, nó vượt qua hàng rào đó một cách rất nhẹ nhàng. Cho đến lúc này thì chưa có gì lạ cả. Nhưng thi thoảng, những điều kỳ quặc của thế giới lượng tử sẽ đột ngột xuất hiện và electron mới có những hành vi khác thường. Nó có thể quay ngược trở lại trong khi vẫn có đủ năng lượng cần thiết để vượt qua rào chắn

nguyên tử. Kỳ lạ hơn nữa, như có phép thần, nó có thể xuất hiện ở bên kia rào chắn, trong khi năng lượng của nó còn xa mới đủ làm chuyện đó... Điều này chẳng khác gì hòn đá được thảy nhẹ vào ô kính, lẽ ra nó phải bật trở lại, song đúng như có phép thần, hòn đá đã ở trong phòng, để lại phía sau nó ô kính vẫn còn nguyên vẹn! Nhà văn Marcel Aymé (1902 - 1967) chắc sẽ rất hài lòng khi biết rằng cơ học lượng tử đã cho phép, nếu không phải là các nhân vật thì ít nhất cũng là các electron chơi trò xuyên qua tường! Điều này tựa như electron đã tự đào cho mình một loại đường hầm để xuyên qua rào chắn nguyên tử vậy. Chính vì thế các nhà vật lý gọi đây là "hiệu ứng đường hầm".

Nguyên lý bất định của Heisenberg cho phép chúng ta hiểu được vì sao electron lại có thể chơi trò xuyên tường và vượt qua được rào chắn mà theo tiên nghiệm là không thể vượt qua được. Hoàn toàn tựa như chúng ta không thể biết đồng thời vị trí và tốc độ của một hạt nhỏ hơn nguyên tử, cơ học lượng tử đã làm cho năng lượng của một hạt cơ bản tại một thời điểm đã cho nhòe đi. Sự nhòe này cho phép hạt mượn năng lượng của ngân hàng Tự nhiên, và chính phần năng lượng phụ thêm đó đã cho phép nó vượt qua rào chắn. Song hãy chú ý! Sự vay mượn năng lượng này không thể kéo dài mãi được. Năng lượng vay càng nhiều thì sự hoàn trả càng phải nhanh. Do đó hạt phải hành động rất nhanh để sử dụng có lợi nhất sự vay mượn này. Đa số các hạt nhận được năng lượng vay không đủ để vượt qua hàng rào. Chúng đành phải quay ngược trở lại. Song, thi thoảng một hạt may mắn vay được một khoản năng lượng lớn, và nó đi qua được rào chắn. Bạn không nên nghĩ rằng "hiệu ứng đường hầm" này chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng đầy phóng túng của các nhà vật lý. Khi nghe một khúc nhạc yêu thích qua dàn stereo của mình, bạn phải cảm ơn "hiệu ứng đường hầm"

đấy, vì sự khoái cảm mà nó đã mang lại cho bạn. Thực ra, chính nhờ có hiệu ứng đường hầm mà một số linh kiện vi điện tử mới hoạt động được.

Người quan sát sáng tạo ra thực tại

Trong thí nghiệm về các chùm electron đi qua hai khe song song, ta không thể nói chắc electron đã đi qua khe nào. Chúng ta luôn luôn bị hạn chế chỉ được nói về các xác suất, tức là buộc phải "chơi xúc xắc", theo cách nói của Einstein. Bạn có thể cãi lại tôi rằng: chỉ cần đặt các máy dò ngay sau hai khe là có thể biết được electron đã đi qua khe nào. Song chính hành động trinh thám như thế sẽ làm nhiễu loạn hệ thống và như vậy chúng ta không thể tiếp cận được thực tại đã tồn tại trước khi chúng ta quan sát nó. Khi không bị chúng ta quan sát, hạt dưới nguyên tử có thể *vừa* ở đây *vừa* ở kia, ở khắp mọi nơi: nó khoác bộ quần áo sóng, các sóng này giao thoa với nhau và một loạt cực đại và cực tiểu (tức các vân giao thoa) xuất hiện trên màn ảnh sau hai khe. Chỉ khi chúng ta quan sát thì hạt mới ở đây *hoặc* ở kia, tức là lúc đó nó mặc bộ quần áo hạt và các vân giao thoa sẽ biến mất. Như vậy là sự quan sát đã tạo ra thực tại. Trước khi quan sát, electron mang bộ quần áo sóng và tính hạt chỉ thuần túy là tiềm tàng. Nhưng cái tiềm tàng chỉ được hiện thực hóa sau khi ta quan sát nó. Trong khi, đối với Laplace, thế giới là một bộ máy trơn tru dầu mỡ, tự nó vận hành một mình, không cần đến sự can thiệp của thần thánh hay của con người, thì cơ học lượng tử đã khôi phục lại vai trò người quan sát. Thế giới bên ngoài, về một phương diện nào đấy, được xác định bởi những câu hỏi mà chúng ta đã đặt ra cho mình về nó.

Như vậy là người quan sát đóng một vai trò trung tâm để cho

thực tại được kết tinh ở mức nội nguyên tử. Liệu tình hình có hệt như vậy cả trong cuộc sống hằng ngày không? Chẳng lẽ những bộ phận của thực tại mà chúng ta cảm nhận được trong quá trình hoạt động hằng ngày của mình, như mảnh vườn trồng hoa sặc sỡ, một đường phố rợp bóng cây, một bàn làm việc đầy sách, cũng phụ thuộc vào người quan sát sao? Lẽ nào chúng không có sự tồn tại riêng? Mặt trăng trên bầu trời có phải chỉ xuất hiện khi ta quan sát nó? Và một cành cây gãy trong rừng sẽ không phát ra tiếng động nào chỉ vì không có ai nghe tiếng? Liệu chúng ta có phải chối bỏ tính khách quan của thế giới, chối bỏ ý tưởng cho rằng nó tồn tại độc lập với chúng ta cho dù ta có quan sát nó hay không?

Các câu hỏi đó đều xác đáng, bởi vì các đồ vật trong đời sống đều do các nguyên tử cấu tạo nên, mà như chúng ta đã thấy, thực tại nội nguyên tử không phải khách quan mà là chủ quan. Vậy thì tại sao tính không khách quan đó lại không truyền cho con người và các đồ vật bao quanh ta? Tất cả chúng ta đều ý thức được một thực tế là hành vi của mình sẽ thay đổi khi bị người khác chăm chú quan sát. Trước sự hiện diện của một người khác, chúng ta không hành động theo cùng một cách như khi chúng ta chỉ có một mình. Những thổ dân của một bộ tộc người da đỏ ở vùng Amazon đã thay đổi một cách tế nhị cách sống của họ, khi một nhà nhân chủng học tới để nghiên cứu họ. Không còn nghi ngờ gì nữa, sự quan sát có ảnh hưởng đến tâm lý con người. Nhưng liệu nó có thực sự làm biến đổi thực tại hằng ngày của chúng ta không?

Erwin Schrodinger, cha đẻ của hàm sóng - hàm mô tả mọi tính chất tiềm tàng của một hạt cơ bản, tức là mọi chuyển động và vị trí khả dĩ của nó, đã không chấp nhận thực tại phụ thuộc vào quan sát. Ông đã quá trăn trở về những điều kỳ quặc của cơ học lượng tử, đến nỗi ông đã phải thốt ra với Bohr rằng: "Tôi thật sự lấy làm

tiếc vì đã có lúc mình dây dưa với lý thuyết lượng tử". Để minh họa các tình huống phi lý mà cách giải thích xác suất về thực tại có thể dẫn đến, ông đã tưởng tượng ra một tình thế giả định như sau. Chúng ta hãy nhốt một con mèo vào một căn phòng có đặt một lọ xyanua (rất độc!). Bên trên lọ treo một cái búa được điều khiển bởi một chất phóng xạ, tức là chất tự phân rã trong một khoảng thời gian nào đó. Ngay khi xảy ra phân rã đầu tiên, chiếc búa sẽ rơi xuống làm vỡ cái lọ xyanua, chất độc chảy ra và con mèo sẽ chết. Cho tới đây chưa có gì kỳ lạ cả. Những điều kỳ quặc chỉ thực sự bắt đầu khi ta thử tiên đoán về số phận con mèo. Cơ học lượng tử nói rằng chúng ta không thể biết chính xác khi nào thì phân rã đầu tiên sẽ xảy ra. Chúng ta chỉ có thể mô tả tình huống này bằng các xác suất: trong vòng một giờ, có 50% cơ hội để một hạt nhân phân rã và con mèo sẽ chết. Song cũng còn 50% cơ hội để không có chuyện gì xảy ra và con mèo vẫn sống. Chừng nào chúng ta chưa mở cánh cửa căn phòng để kiểm tra thì tất cả những gì ta có thể nói trong vòng một giờ là: con mèo là tổ hợp của 50% con mèo chết và 50% con mèo sống. Điều đó phải chăng có nghĩa là ta có thể làm ra các con mèo vừa sống-vừa chết? Không thể có chuyện đó! Nếu bạn mở cánh cửa ra và nhìn vào, bạn sẽ thấy một con mèo hoặc đã chết hoặc còn sống, chứ chắc chắn không phải là một con mèo đang treo lơ lửng giữa hai trạng thái đó. Điều đó tựa như là Tự nhiên đợi người quan sát đến để quyết định sự lựa chọn vậy. Song điều gì xảy ra bên trong căn phòng khi chẳng có ai quan sát?

Thực tại được nhân lên

Schrodinger đã tưởng tượng ra câu chuyện con mèo để chứng minh rằng cách giải thích xác suất của cơ học lượng tử có thể dẫn đến những vấn đề kỳ lạ, thậm chí phi lý nữa. Song nhà vật lý người

Áo đã tiến hành một cuộc chiến đấu ở nơi đã biết trước là thất bại, bởi vì cơ học lượng tử đã giành được hết thắng lợi này đến thắng lợi khác trong việc giải mã hành vi của các nguyên tử. Để tránh các tình huống kiểu mèo bị treo giữa cái sống và cái chết, năm 1957, nhà vật lý Mỹ Hugh Everett đã đưa ra một giải pháp còn kỳ lạ hơn, đó là lý thuyết có tên "các vũ trụ song song". Theo lý thuyết này, mỗi khi cần có sự lựa chọn hoặc cần một quyết định, vũ trụ được phân ra thành hai bản gần tương tự nhau. Chẳng hạn, trong một vũ trụ con mèo còn sống và trong vũ trụ kia con mèo đã chết. Thực tại cứ phân ra mãi như thế đến vô tận. Mỗi vũ trụ song song được sinh ra với một không-thời gian riêng, hoàn toàn tách rời khỏi vũ trụ của chúng ta. Do đó, không thể có một mối liên lạc nào giữa các vũ trụ khác nhau, đặc biệt là với vũ trụ chúng ta. Ngay bản thân chúng ta, với tư cách là người quan sát, chúng ta cũng tự phân chia mình ra đến vô cùng, với một phiên bản của mỗi chúng ta cho mỗi vũ trụ song song. Mỗi phiên bản chỉ cảm nhận được một vũ trụ duy nhất và chỉ ý thức được một thực tại duy nhất. Chẳng hạn, ở chính thời điểm bạn đang đọc các dòng này, sẽ còn có vô số các phiên bản của bạn ngồi trong cùng một chiếc ghế, đặt trong cùng một căn nhà, ở trong vô số các vũ trụ song song, mà vũ trụ này chỉ khác vũ trụ kia chút ít. Tất cả các phiên bản đó đều đã trải qua cùng một quá khứ, và có cùng những kỷ niệm như nhau. Thậm chí người ta có thể tưởng tượng ra vô vàn Marcel Proust đang chiêm nghiệm lại cùng một quá khứ và nhớ lại hương vị ngọt ngào của những chiếc bánh madeleine trong vô số những phiên bản hơi khác nhau của tác phẩm *Đi tìm thời gian đã mất*. Nhưng tương lai của vô số phiên bản đó của bạn sẽ trở nên khác nhau, một số thì không cảm nhận thấy, nhưng một số khác thì rõ rệt hơn. Một số phiên bản vẫn tiếp tục bình thản đọc tác phẩm này, một số khác thì đi pha trà, một

số khác nữa thì đi dạo cho chân đỡ tê do ngồi lâu. Trong số những phiên bản của bạn đi dạo chơi, người ta thậm chí còn hình dung ra một phiên bản bị xe cán nát khi đi qua đường, khiến cho sự tồn tại của nó đột ngột chấm dứt. Những phiên bản của cuốn sách này cũng được nhân lên đến vô hạn. Thật không may, quyền tác giả cũng chẳng vì thế mà tăng, bởi vì số phiên bản của tác giả cũng là vô hạn và ai cũng đòi trả cả!

Như vậy là cơ học lượng tử cho phép sự tồn tại của vô số thực tại. Song vì không có một phương tiện nào để quan sát các vũ trụ song song, nên chừng nào còn chưa có những đột phá mới, các vũ trụ này vẫn chỉ là những thực thể lý thuyết, hoàn toàn không có một bằng chứng thực nghiệm nào và được sinh ra từ trí tưởng tượng phong phú của các nhà vật lý.

Dù sao đi nữa, các nhà vật lý vẫn tiếp tục làm việc say sưa để khám phá vùng giáp ranh giữa thế giới nội nguyên tử và thế giới của đời thường. Họ muốn hiểu sự quá độ từ sự nhòe lượng tử sang quyết định luận hằng ngày đã diễn ra như thế nào. Họ hy vọng giải thích được tại sao khi lắp ráp hàng tỷ, tỷ, tỷ (10^{27}) nguyên tử để tạo thành một con mèo, chúng ta không thể nói đến một con mèo 50% sống và 50% chết, mà chỉ có thể nói về một con mèo sống *hoặc* chết. Con đường phải đi tới cái đích đó còn rất dài. Những kết tập hạt lớn nhất đã được nghiên cứu cho đến nay chưa vượt quá con số 5000 hạt. Trong những tập hợp nhỏ như vậy, sự nhòe lượng tử vẫn còn ngự trị như ông chủ vậy.

Xóa sạch quá khứ

Cơ học lượng tử còn đưa vào thế giới đời thường của chúng ta nhiều điều kỳ lạ khác nữa. Ví dụ, nó cho phép xóa sạch quá khứ.

Để thấy điều này, chúng ta cần trở lại với thí nghiệm hai khe của Young. Hãy nhớ lại rằng nếu chúng ta không nhìn xem photon (hoặc electron) đi qua khe nào, thì hạt đó sẽ mang bộ áo sóng và các vân giao thoa xuất hiện rất đẹp trên màn ảnh đặt sau hai khe. Song nếu chúng ta đặt các máy dò ngay sau các khe để do thám xem photon đi qua khe nào, nó sẽ lại mặc bộ áo hạt và các vân giao thoa sẽ biến mất. Nhưng cơ học lượng tử còn đi xa hơn nữa: nó cho phép photon đợi để quyết định xem giữa hai phương diện sóng và hạt bổ sung cho nhau, nó sẽ chọn phương diện nào, ngay cả sau khi photon đã lọt qua các khe, trong khi đó lôgic nói với chúng ta rằng sự lựa chọn này phải được quyết định *trước khi* photon đi qua hai khe.

Ta hãy đặt các máy dò ngay sau hai khe để do thám các photon. Photon khi này sẽ mang bộ áo hạt và không có các vân giao thoa. Điều này chẳng có gì là lạ cả. Nhưng hãy đặt giả thuyết rằng sau khi photon đã lọt qua các khe, ta đổi ý không cần biết chính xác đường đi của nó nữa. Chúng ta có thể đặt các dụng cụ trước màn ảnh để xóa thông tin này. Điều ngạc nhiên là: ngay khi thông tin bị xóa, các vân giao thoa lại tái hiện như có phép thần. Điều này có nghĩa là photon đã đổi bộ áo hạt của mình để lấy lại bộ áo sóng. Song việc đổi này lại xảy ra sau khi đã vượt qua các khe, chứ không phải trước! Điều này chẳng khác gì photon đã biết trước, thậm chí trước cả khi đi qua khe, rằng dụng cụ xóa thông tin đang đợi nó ở phía trước và nó cần phải điều chỉnh thái độ sao cho phù hợp. Nói cách khác, quyết định của con người muốn dùng dụng cụ xóa thông tin đã ảnh hưởng tới bản chất của thực tại trong quá khứ. Thực tại lượng tử dường như có một mối liên hệ bí ẩn với quá khứ. Song hãy coi chừng! Nếu những hành động của người quan sát kiêm nhà thực nghiệm có thể giúp cho việc quyết định bản chất

của thực tại lượng tử trong quá khứ, thì trong bất kỳ trường hợp nào chúng cũng không thể thay đổi được tính nhân quả của các sự kiện đã qua. Tôi không thể sử dụng cơ học lượng tử để gửi những thông tin vào quá khứ để ngăn cản cha mẹ tôi gặp nhau và bằng cách đó hủy bỏ sự ra đời của chính tôi!

Một thực tại tổng thể

Thế giới lượng tử dường như còn có một loại tính tổng thể vượt lên trên thời gian. Thí nghiệm sau đây do Einstein tưởng tượng ra đã chứng tỏ rằng dường như nó còn vượt lên trên cả không gian nữa.

Cũng giống như Schrodinger, Einstein không thể chấp nhận rằng thực tại không phải là khách quan, rằng nó không tồn tại độc lập với người quan sát, như Bohr và các học trò của ông đã từng khẳng định. Đối với Einstein, sự nhòe lượng tử không phải là tính chất cố hữu của Tự nhiên, mà nó là hậu quả của sự thiếu tinh xảo của các dụng cụ đo. Là nhà quyết định luận thâm căn, ông cho rằng thực tại bị chi phối một cách chặt chẽ bởi các quy luật nhân quả, chứ không phải bằng vẻ mờ mờ ảo ảo bởi các quy luật ngẫu nhiên và xác suất. Thế giới phải giống như trò chơi bi-a chứ không phải một ván cò quay may rủi.

Einstein đã không ngừng tìm kiếm chỗ yếu trong cấu trúc của lý thuyết lượng tử. Ông đã say mê làm việc với hy vọng tìm ra một kịch bản nhằm chứng minh cách giải thích xác suất của thực tại mang tính chủ quan sẽ dẫn đến những điều vô lý. Trong nhiều năm ròng, ông đã tưởng tượng ra nhiều tình huống, trong đó ông tưởng rằng đã vạch được ra thiếu sót của cơ học lượng tử, nhưng bao giờ Bohr cũng là người thắng thế. Không còn cách nào khác, Einstein đành phải từ bỏ mục tiêu ban đầu nhằm chứng minh cơ

học lượng tử là một lý thuyết sai lầm, để tập trung vào mục đích đơn giản hơn là chứng tỏ lý thuyết đó không đầy đủ và không mô tả được thực tại một cách tổng thể. Với các đồng nghiệp của mình là Boris Podolsky và Nathan Rosen, vào năm 1935, ông đã tưởng tượng ra thí nghiệm sau đây, thường được gọi là "thí nghiệm EPR" (theo chữ đầu của tên ba tác giả).

Ta hãy xét một hạt. Hạt này tự phát phân hủy thành hai hạt ánh sáng A và B. Theo nguyên lý đối xứng, hai hạt này phải bay ra theo hai hướng trực đối nhau. Ta hãy đặt các dụng cụ đo lường để kiểm tra. Nếu A đi về hướng tây, ta sẽ thấy B đi về hướng đông. Cho tới đây, rõ ràng là chưa thấy điều gì lạ cả. Nhưng đó là do ở đây ta chưa tính đến những điều kỳ quặc của cơ học lượng tử. Trước khi bị máy dò phát hiện, A khoác bộ áo sóng, chứ không lộ mặt là hạt. Sóng này không có vị trí xác định và xác suất để tìm thấy A ở bất kỳ hướng nào đều khác không. Chỉ khi nào thu được A thì nó mới đổi dạng thành hạt và mới "biết" rằng nó đang đi về hướng tây. Nhưng nếu A "không biết" trước hướng bay của nó trước khi bị thu, thì làm thế nào B có thể "đoán" được hành trạng của A để điều chỉnh hành trạng của chính mình sao cho nó bị thu đồng thời với A nhưng ở hướng ngược lại? Điều đó cũng chẳng có ý nghĩa gì. Vì ít nhất ta sẽ phải chấp nhận rằng A có thể truyền tức thời thông tin về hướng đi của nó cho B. Nhưng điều này vi phạm thuyết tương đối, bởi vì thuyết này cấm các tín hiệu không được đi nhanh hơn ánh sáng. "Chúa không gửi các tín hiệu ngoại cảm", Einstein đã nói như vậy và ông kết luận rằng cơ học lượng tử không mô tả đầy đủ thực tại. Theo ông, trước khi tách khỏi B, A đã phải biết nó sắp đi theo hướng nào và thông báo cho B biết. A có một thực tại khách quan và thực tại này không phụ thuộc gì vào chuyện sau đó nó sẽ bị máy dò thu được ở phía tây. Nhưng, thực tại xác định và

tất định này lại "được ẩn giấu" phía dưới bề mặt bất định và phi tất định lượng tử (các nhà vật lý gọi một lý thuyết như thế là "lý thuyết của những biến ẩn" và các biến ẩn này chính là vị trí và vận tốc của hạt).

Thật không may là Einstein đã sai lầm. Nhà vật lý Pháp Alain Aspect của trường đại học Paris đã tiến hành một loạt thí nghiệm về các cặp photon nhằm kiểm chứng giả thuyết EPR. Các thí nghiệm này đã chứng minh lẽ phải luôn luôn thuộc về cơ học lượng tử. Không hề có các "biến ẩn". Những thiếu sót mà Einstein đã dày công tìm kiếm trong cấu trúc của lý thuyết lượng tử vẫn biệt vô âm tín.

Vậy thì làm thế nào giải thích được rằng B luôn luôn biết tức khắc những gì mà A làm? Thực ra, nó chỉ thật sự là một vấn đề nếu ta giả sử rằng thực tại đã bị cắt ra từng khúc và định xứ trên mỗi hạt. Vấn đề này sẽ không còn nữa, nếu chúng ta chấp nhận rằng A và B đều cùng là bộ phận của một thực tại *tổng thể*. A không cần phải gửi tín hiệu với tốc độ nhanh hơn ánh sáng cho B, bởi vì hai hạt ánh sáng này thường xuyên liên lạc với nhau bởi một loại tương tác bí ẩn. Như vậy là thực tại lượng tử quét sạch những khái niệm định xứ. Các khái niệm như "ở đây" và "ở kia" không còn ý nghĩa nữa, vì "ở đây" giống hệt với "ở kia". Vũ trụ là một hệ thống bao la của các hạt tương tác với nhau. Không hài lòng với việc ban cho thời gian một tính cách tổng thể, cơ học lượng tử còn ban tính chất đó cho cả không gian nữa.

Hạt nhân nguyên tử có một thành phần khác

Trong khi Schrodinger, Bohr và Einstein tranh luận với nhau về những khái niệm thực tại lượng tử, các nhà vật lý vẫn tiếp tục đi sâu nghiên cứu cấu trúc của vật chất. Họ bắn phá vật chất bằng

những chùm hạt với vận tốc ngày càng cao trong những cỗ máy ngày một lớn, với quy mô hàng chục kilômét và họ đã khám phá ra ngày càng nhiều bí mật của vật chất. Các hạt cơ bản của vật chất bắt đầu sinh sôi và ngày càng đông đúc.

Năm 1930, nguyên tử của Bohr gồm một hạt nhân và các electron chuyển động xung quanh hạt nhân ấy. Bên trong nguyên tử hầu như chỉ là chân không, vì hạt nhân gồm các proton mang điện dương cực kỳ nhỏ gọn. Mỗi một proton lại có một electron mang điện âm tương ứng, khiến cho điện tích toàn phần của nguyên tử bằng không. Sự sắp xếp của các electron quanh hạt nhân quyết định các tính chất hóa học của nguyên tử và vị trí của nó trong bảng tuần hoàn Mendeleev. Nhưng chẳng bao lâu, cái sơ đồ mỹ mãn này đã bị những đám mây đen bao phủ. Trong Tự nhiên người ta lại tìm thấy những nguyên tử có cùng một số lượng electron nhưng lại có trọng lượng nguyên tử khác (người ta gọi chúng là những "nguyên tố đồng vị"). Ví dụ, khí neon có hai dạng: khí neon 20 và khí neon 22, cả hai có khối lượng tương ứng lớn gấp 20 và 22 lần khối lượng của nguyên tử hyđrô, nhưng lại có số lượng electron như nhau. Sự khác nhau về khối lượng đó hàm ý rằng phải có một thành phần nữa trong hạt nhân nguyên tử. Thoạt đầu, người ta nghĩ rằng có thể đó là những electron. Chẳng hạn, hạt nhân nguyên tử neon 20 sẽ có 20 proton, còn hạt nhân nguyên tử neon 22 có 22 proton kèm thêm 2 electron để trung hòa điện tích của 2 proton dôi ra. Song nhà vật lý Ernest Rutherford - người đã chứng minh sự tồn tại của hạt nhân nguyên tử - đã có một ý tưởng hay hơn: tại sao lại quy lý do của sự chênh lệch trọng lượng cho các proton dôi ra, mà không quy cho các hạt có khối lượng tương tự khối lượng của proton? Hạt mới này phải không mang điện tích, nó được gọi là "nơtron". Và khi này không cần đến sự tồn tại của electron trong hạt nhân nguyên tử nữa.

Trực giác thiên tài này của Ernest Rutherford chẳng bao lâu đã được khẳng định một cách vẻ vang bởi một đồng nghiệp và cũng là học trò cũ của ông, đó là nhà vật lý người Anh James Chadwick (1891-1974): ông ta đã phát hiện ra các hạt không bị từ trường cũng như điện trường làm cho lệch hướng và do đó chúng không mang điện tích nào. Mặt khác, khi người ta dùng những hạt này để bắn phá các hạt nhân nguyên tử thì thấy các proton bị bắn ra; điều này có nghĩa là khối lượng của chúng tương tự như khối lượng của proton. Đây chính là các nơtron mà Rutherford dự đoán. Như vậy, cùng với cặp proton - electron, nơtron là viên gạch thứ ba của vật chất. Bộ ba này đã tạo nên toàn bộ sự phức tạp và vẻ đẹp của thế giới.

Các Nơtron duy trì sự bền vững của vật chất

Tại sao Tự nhiên lại phải tốn công tạo ra các hạt nơtron? Phải chăng đó là một việc làm vô cớ? Hoàn toàn không phải như vậy. Bởi vì nếu không có nơtron thì các hạt nhân nguyên tử chỉ gồm proton thôi sẽ không thể bền vững, và do đó toàn bộ vật chất quanh ta, tách trà mà bạn cầm trong tay, những bức tường bao quanh bạn, các bông hồng đang tỏa hương trong phòng bạn, tất cả đều sẽ bị phân hủy hết! Thực vậy, nếu như lực điện từ làm cho các hạt tích điện trái dấu hút nhau, thì nó lại làm cho các hạt tích điện cùng dấu đẩy nhau ra (bất kể chúng cùng tích điện dương hay âm). Như vậy, các proton trong hạt nhân nguyên tử sẽ đẩy nhau và hạt nhân sẽ nổ tung nếu như không có một lực ngăn nó lại. Lực này chống lại lực điện từ và giữ cho các hạt thành phần tạo nên hạt nhân gắn kết với nhau (người ta còn gọi các hạt thành phần này là các "nuclon"). Các nhà vật lý gọi lực ấy là "lực hạt nhân mạnh". Mạnh vì cường độ của nó lớn hơn cường độ lực điện từ khoảng 100 lần.

Bạn có thể cho rằng với một cường độ như thế, lực hạt nhân mạnh sẽ nuốt tươi lực điện từ trong hạt nhân và lực điện từ chẳng còn đóng một vai trò gì ở đó nữa. Nhưng Tạo hóa rất tế nhị, nó không trao hết các chủ bài cho lực mạnh. Cụ thể là lực này có tầm tác dụng cực kỳ hạn chế. Nó chỉ có thể tác dụng, nếu các nuclon được đặt gần như là sát với nhau. Chỉ cần chúng tách ra xa nhau một chút thôi, chẳng hạn cách nhau một khoảng cỡ một phần mười ngàn tỷ (10^{-13}) xentimét, thì lực mạnh sẽ không còn có tác dụng gì nữa. Nó trở nên bất lực hoàn toàn. Trái lại, lực điện từ, mặc dù yếu hơn nhiều, nhưng lại có tầm tác dụng lớn hơn rất nhiều. Tất nhiên cường độ của nó giảm cùng với sự tăng khoảng cách giữa các nuclon, song nó chỉ yếu đi theo bình phương của khoảng cách chứ không phải là giảm theo hàm mũ, như trong trường hợp của lực mạnh. Tình hình này cũng giống như một trận đấu quyền anh, trong đó một trong hai võ sĩ có quả đấm phải rất ác, nhưng lại không đủ tầm xa vì tay quá ngắn, trong khi đó đối phương có quả đấm phải không mạnh bằng, nhưng lại đánh được xa hơn vì cánh tay của võ sĩ này dài hơn.

Như vậy là trong hạt nhân nguyên tử, các nuclon hút nhau bởi lực mạnh, nhưng chỉ khi nào chúng gần chạm vào nhau. Trái lại, sự đẩy bởi lực điện có phạm vi tác dụng từ đầu này đến đầu kia hạt nhân. Vì vậy lực điện từ sẽ thắng thế đối với các hạt nhân lớn. Chẳng hạn như trong trường hợp hạt nhân urani, nó chứa tới 92 proton và 140 nơtron, vì vậy hạt nhân này rất không bền và nó phân hạch bất cứ lúc nào. Sự đẩy nhau bởi lực điện của một số lượng rất lớn các proton như thế sẽ làm nổ tung hạt nhân urani, kèm theo sự giải phóng năng lượng. Và con người đã thành công trong việc chinh phục năng lượng ấy. Nhưng không phải bao giờ họ cũng sử dụng nó một cách có ý thức. Những quả bom nguyên

tử gieo biết bao chết chóc và tàn phá xuống hai thành phố Nhật Bản Hiroshima và Nagasaki, thực chất đã lấy thứ năng lượng ghê gớm và chết chóc ấy từ sự phân hạch của các hạt nhân urani. Trong trường hợp ngược lại của một hạt nhân nhỏ, như hạt nhân hyđrô, thì lực mạnh sẽ thắng thế và hạt nhân thay vì phân hủy, nó lại tổng hợp với một hạt nhân khác. Sự tổng hợp này cũng giải phóng năng lượng, nhưng năng lượng đó sạch về mặt sinh thái hơn rất nhiều so với năng lượng phân hạch, vì nó không tạo ra những chất thải phóng xạ. Con người đã thử sản xuất năng lượng tổng hợp hạt nhân này trên Trái đất, nhưng còn chưa làm được.

Vậy nơtron đóng vai trò gì trong cuộc chiến đấu quyết liệt này? Nó đem lại sự bền vững cho vật chất và làm cho các đồ vật xung quanh ta không bị phân hủy thường xuyên hay tổng hợp lại. Thực vậy, các nơtron đóng vai trò chủ yếu trong việc phục hồi sự cân bằng mong manh giữa lực mạnh và lực điện từ nhằm làm cho không bên nào bị đánh nốc ao trong cuộc đấu. Do không mang điện, nơtron không đóng góp gì vào lực đẩy điện, nhưng sự có mặt của nó lại giúp cho lực mạnh duy trì sự gắn kết của hạt nhân. Hạt nhân của nguyên tố hóa học đơn giản nhất và có nhiều nhất trong Vũ trụ, đó là khí hyđrô, chỉ gồm một proton duy nhất. Trong nó không có lực điện từ cũng chẳng có lực hạt nhân mạnh để giao tranh, nên sự có mặt của nơtron là không cần thiết. Nhưng ta hãy xét nguyên tố hóa học tiếp theo, hêli. Đây là nguyên tố phổ biến thứ hai trong Vũ trụ. Hạt nhân của nó có 2 proton và 2 nơtron. Nếu nơtron không có mặt ở đó thì hạt nhân hêli sẽ phân rã tức khắc. Khi đó sẽ không còn khí hêli để đẩy các quả bóng bay sặc sỡ của trẻ nhỏ lên trời nữa. Và nhất là ánh sáng của Mặt trời, nguồn năng lượng duy trì mọi sự sống trên Trái đất, sẽ không còn đến sưởi ấm cho ta nữa. Thực vậy, ngọn lửa của các

ngôi sao, đặc biệt là của Mặt trời, là do vô số những phản ứng tổng hợp của 4 proton thành một hạt nhân hêli mà ra. Nếu hêli mất đi sự bền vững của nó thì các ngôi sao sẽ không còn lấp lánh trên bầu trời giữa một vũ trụ lạnh giá và buồn tẻ nữa. Và bởi vì tất cả chúng ta đều là những hạt bụi của các vì sao, chúng ta cũng sẽ không còn có mặt trên đời này để nói về chúng nữa. Chỉ còn lại những dải mây hyđrô bồng bềnh đây đó trong một Vũ trụ buồn bã và đơn điệu. Hóa học và tính phức tạp cũng không còn nữa. Và thế là cũng vĩnh biệt luôn hương thơm ngạt ngào của hoa hồng, vĩnh biệt tiếng hót du dương của họa mi. Nhưng đặc biệt ta sẽ vĩnh biệt một ý thức có khả năng lĩnh hội được vẻ đẹp và sự hài hòa của thế giới!

Anh em sinh đôi mang râu của Proton

Tạo hóa đã sáng tạo ra nơtron để cho vật chất không bị nổ tung. Song vẫn còn một điều bí ẩn chưa được sáng tỏ. Những quan sát cho thấy khối lượng của proton và nơtron xấp xỉ nhau. Khối lượng của nơtron chỉ lớn hơn khối lượng của proton 0,14%, và cả hai khối lượng này đều gấp khoảng 2000 lần khối lượng của electron. Nếu chỉ cốt để cho nơtron đóng vai trò bình ổn vật chất, một sự trùng khớp như thế là không cần thiết. Mặt khác, lực mạnh giữa hai nơtron gần như ngang bằng với lực mạnh giữa hai proton. Nói cách khác, nơtron giống proton trên mọi mặt (với sai khác chỉ 0,1%), trừ một điều là hạt này thì có điện tích, còn hạt kia thì không. Quan hệ này cũng tựa như trường hợp hai trẻ sinh đôi giống hệt nhau, chỉ có điều khác là đứa bé này thì mang râu, còn đứa kia thì không.

Năm 1932, nhà vật lý người Đức là Werner Heisenberg (1901-

1976), người phát minh ra nguyên lý bất định, đã đưa ra ý tưởng cho rằng sự giống nhau hầu như hoàn toàn giữa proton và nơtron không thể là chuyện ngẫu nhiên mà là hệ quả của một nguyên lý đối xứng nổi trội trong Tự nhiên. Chúng ta đã biết rằng trong vật lý, đối xứng có nghĩa là thực tại của một vật sẽ giữ nguyên như trước khi ta thực hiện trên nó những thao tác khác nhau, chẳng hạn như phép quay hoặc phép phản xạ qua một gương. Song Heisenberg đã đẩy khái niệm đối xứng đi xa hơn. Thay vì dừng lại ở một số thao tác cụ thể mà ta có thể hình dung trong không gian thực, nhà vật lý này đã tuyên bố rằng nguyên lý đối xứng còn có thể áp dụng cho cả những thao tác hoàn toàn trừu tượng. Proton có thể biến đổi thành nơtron không phải bằng một thao tác cụ thể, như là một phép quay chẳng hạn, mà bằng sự thay đổi của một thuộc tính trừu tượng có tên là "spin đồng vị" (isospin). Spin đồng vị là một thuộc tính đặc trưng cho các hạt chịu tác dụng của lực mạnh, cũng như điện tích là thuộc tính đặc trưng cho các hạt chịu tác dụng của lực điện từ. Như vậy, nếu một người quan sát nhìn thấy một proton, thì một người quan sát khác, do phối cảnh bị thay đổi bởi sự chuyển đổi spin đồng vị, sẽ nhìn thấy một nơtron. Bởi vì proton và nơtron chỉ là hai mặt của cùng một thực tại vật lý, cho nên không có gì là lạ khi lực mạnh giữa hai proton cũng giống hệt như lực mạnh giữa hai nơtron. Nếu proton và nơtron là đối xứng đối với lực mạnh, thì chúng lại không đối xứng đối với lực điện từ. Chính điều này đã giải thích tại sao có sự khác biệt chút ít giữa khối lượng của hai hạt. Lại một lần nữa, chúng ta thấy Tự nhiên rất thích cái đẹp và sự hài hòa. Trong khi sử dụng nguyên lý đối xứng để dựng nên sự phức tạp của thực tại, Tự nhiên đã bảo đảm rằng các nguyên lý thẩm mỹ đã được quy định ngay trong lòng của vật chất.

Sự quá dồi dào các hạt

Bộ ba electron, proton và nơtron chẳng bao lâu sau đã được bổ sung thêm hàng trăm hạt khác. Một số hạt từ trên trời rơi xuống dưới dạng các "tia vũ trụ", dòng hạt vật chất được sinh ra và gia tốc đến những vận tốc rất lớn, trong cơn hấp hối bùng nổ của các ngôi sao nặng trong dải Ngân Hà. Chúng đến thăm Trái đất chúng ta sau khi đã đi qua một chặng đường dài dằng dặc trong không gian giữa các vì sao. Các hạt này có tên là *muon*, *pion* hoặc *tau*. Song đại bộ phận các hạt sinh ra và sống chỉ chưa đầy một chớp mắt (một phần triệu giây, thậm chí còn ngắn hơn nữa) trong những cuộc bắn phá dữ dội vào bia vật chất bởi các chùm hạt được gia tốc đến cực độ trong lòng các máy gia tốc khổng lồ. Bộ chữ cái Hy Lạp đã góp phần đặt tên cho chúng: ρ (rô), σ (xichma), cho đến cả Ω (ômega) nữa... Sự tồn tại của một số hạt khác còn được tiên đoán bởi tư duy thuần túy. Chúng ta đã biết nhà vật lý Anh Paul Dirac, người đã khám phá ra sự tồn tại của các phản-electron (hay positron) vào năm 1928 và đã mở toang các cánh cửa của vật lý cho phản-vật chất bước vào. Chính cái ngày mà phương trình do ông lập ra để mô tả hành trạng của electron ra đời, nó đã ương bướng cho ông những hai nghiệm số: một cho electron, nhưng một nghiệm khác cho hạt có điện tích trái dấu. Positron đã được phát hiện vào năm 1932 trong các tia vũ trụ. Chúng ta cũng đã làm quen với nhà vật lý Áo Wolfgang Pauli, người đã thừa nhận sự tồn tại của hạt nơtrinô để giải thích hiện tượng phóng xạ. Và hạt ma quái và tương tác rất ít với vật chất thông thường này chỉ được thực nghiệm phát hiện vào năm 1955, tức là sau hơn hai thập kỷ.

Vườn bách thú các hạt cứ sinh sôi dồn dập như vậy và giống như nhà động vật học có nhiệm vụ phân loại vô số các loài sinh

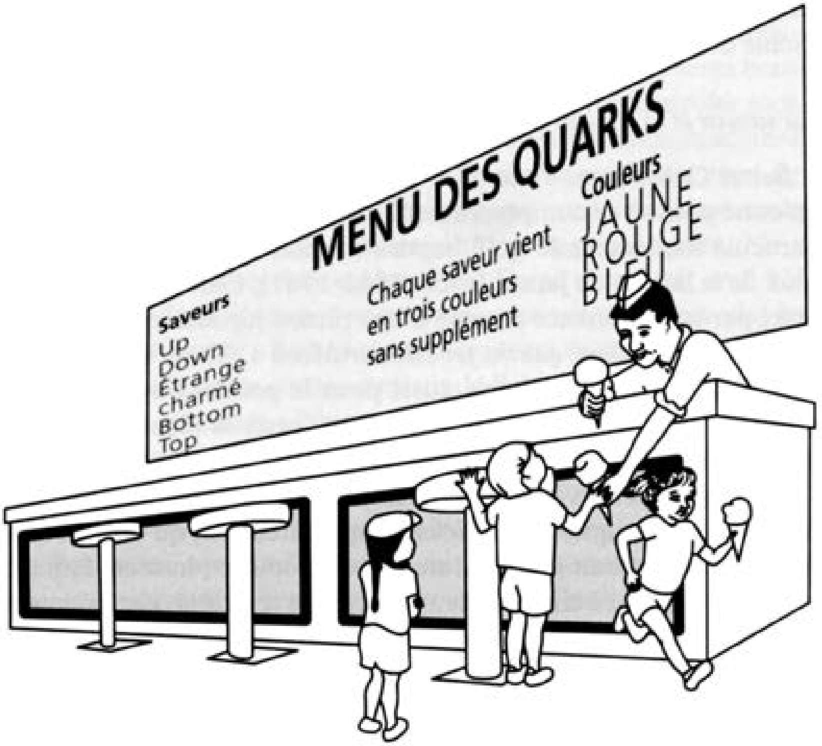
vật đang sống trên Trái đất, các nhà vật lý cũng phải sắp xếp lại trật tự trong bộ sưu tập các hạt này. Để mô tả cái quần thể không ngừng tăng trưởng đó, các nhà vật lý đã phát minh ra nhiều đại lượng toán học ngày càng trừu tượng hơn. Chúng ta đã trở nên quen thuộc với các khái niệm như khối lượng, điện tích hoặc spin của một hạt cơ bản. Heisenberg đã đi bước đầu tiên trong việc trừu tượng hóa, bằng cách đưa ra khái niệm spin đồng vị. Chẳng bao lâu, những khái niệm như *tính chẵn lẻ* và *số lạ* cũng đã xuất hiện. Thực tế, chúng còn... lạ lùng hơn những gì mà người ta định mô tả. Tuy nhiên, mặc dầu có sự bùng nổ các khái niệm mới như thế, nhưng trong thế giới các hạt cơ bản, cho đến tận những năm 1960, tình hình vẫn còn hết sức rối rắm. Bối cảnh này cũng giống như tình hình vào cuối thế kỷ XVIII với sự sinh sôi nhiều nguyên tố hóa học mới. Cần phải có một Mendeleev mới để lập lại trật tự trong cảnh mất trật tự này. Đó chính là nhà vật lý Mỹ Murray Gell-Mann (1929 -). Tuy nhiên, nếu các nhà hóa học phải đợi cho đến khi khám phá ra proton và electron mới hiểu được tổ chức của các nguyên tố hóa học trong Bảng tuần hoàn, thì Gell-Mann đã không ngần ngại tự mình sáng chế ra các hạt mà ông cần, để thiết lập sự hài hòa trong thế giới nội nguyên tử.

Mùi và màu của các hạt Quark

Theo Gell-Mann, sự tồn tại của một vài loại hạt chỉ có thể hiểu được, nếu các hạt này được cấu tạo nên bởi một loại hạt cơ bản mà ông đặt cho cái tên là "quark". Vốn là người rất yêu thích ngôn ngữ của nhà văn James Joyce (1882-1941), Gell-man đã bị quyến rũ bởi một câu nói có âm hưởng lạ trong cuốn tiểu thuyết *Finnegans Wake* (Thức canh Finnegans) của Joyce: "*Three quark for Muster*

Mark". Nghĩa của câu đó là ba quark cho ông Mark, nhưng đồng thời cũng là ba quark cho proton hoặc cho nơtron. Bởi vì, trong sơ đồ của Gell-Mann, cả proton và nơtron đều được cấu thành từ ba hạt quark.

Để giải thích sự đa dạng đến rối trí của các hạt nhung nhúc trong thế giới dưới nguyên tử, các nhà vật lý nhanh chóng nhận ra rằng chỉ một loại quark thôi thì không đủ. Họ phải đưa vào nhiều họ hạt hơn và gán cho mỗi họ hai thuộc tính được gọi một cách thi vị là "mùi" và "màu". Nếu từ "mùi" được đưa vào khiến ta nghĩ tới sự phong phú của các loại kem mà ta sung sướng được ăn trong những ngày hè nóng bức, thì mùi của quark chẳng có liên quan gì đến mùi vị của kem hết. Người ta cũng không nếm các quark như nếm một thứ rượu vang ngon. Mùi ở đây chẳng qua được dùng để chỉ những tính chất trừu tượng và chẳng có liên quan gì đến vị giác cả. Tương tự, từ "màu" ở đây cũng không có cùng một nghĩa như trong câu "Màu đỏ của hoa mào gà đồng nội". Cả hai từ "mùi" và "màu" đều chỉ những tính chất trừu tượng, giống như khái niệm spin đồng vị vậy. Thực ra, các nhà vật lý cũng có thể đặt tên cho những tính chất đó là "mũm mĩm", "béo phì", "dũng cảm" hay 'hài hòa", nhưng có lẽ những cái tên đó nghe không được rung động như các tên "mùi" và "màu" là những từ gợi cho ta nhớ tới vị giác và thị giác, những giác quan quá ư thân thiết với chúng ta, đồng thời chúng cũng tạo một mối liên hệ giữa thế giới thường ngày và thế giới các hạt cơ bản. Sự lựa chọn cái tên "màu" thực ra cũng không phải là hoàn toàn tùy tiện: nó được chọn là do những quy tắc kết hợp các quark có màu khác nhau để tạo thành các proton và nơtron không màu sắc, khiến ta liên tưởng tới các quy tắc kết hợp ba màu cơ bản để tạo thành ánh sáng trắng.



Hình 48. *Menu các món quark*. Ở quán của các nhà vật lý, có sáu mùi của quark là: lên (up), xuống (down), lạ (étrange), duyên (charmé), đáy (bottom) và đỉnh (top). Mùi up là rẻ nhất (vì quark up là nhẹ nhất) và mùi top là đắt nhất (vì quark top là nặng nhất). Mỗi một mùi lại đi kèm với ba màu, nhưng giá thì vẫn như thế, bất kể là màu nào (nghĩa là mỗi quark đều có cùng khối lượng, dù nó là vàng, đỏ hay xanh).

Ở quán các nhà vật lý, thực đơn có ghi ba họ quark khác nhau, mỗi họ được chọn trong hai mùi, tức là tổng cộng có sáu quark khác nhau (H. 48). Chẳng hạn, họ thứ nhất gồm quark có mùi "trên" (up) với khối lượng nhỏ nhất bằng $1/235$ khối lượng proton và quark có mùi vị "dưới" (down) với khối lượng bằng $1/135$ khối

lượng proton (các từ “up” và “down” ở đây chẳng có ý nghĩa gì sâu xa cả, chúng chỉ phản ánh vị trí của hai quark đó trong bảng liệt kê mà thôi: quark “up” được ghi ở bên trên, còn quark “down” được ghi ở dưới). Họ thứ hai gồm quark có mùi “lạ” (étrange) với khối lượng bằng ⅙ khối lượng proton và quark có mùi “duyên” (charmé) cũng với khối lượng bằng ⅙ khối lượng proton. Họ thứ ba gồm các quark nặng nhất, đó là quark “đáy” (bottom) có khối lượng gấp 5,2 lần khối lượng proton và quark “đỉnh” (top) có khối lượng gấp 170 lần khối lượng proton [một lần nữa xin nhắc lại rằng các tên gọi “bottom” và “top” không có ý nghĩa gì sâu xa cả, chúng chỉ phản ánh vị trí của các quark này trong bảng liệt kê mà thôi. Hai quark có mùi “bottom” và “top” cũng thường được các nhà vật lý gọi là “đẹp” (beauté) và “thật” (vérité). Điều này khẳng định tính chất trừu tượng và thuần túy toán học của các “mùi” của quark]. Hơn nữa, đối với mỗi “mùi” của quark, với cùng một giá tiền, bạn lại còn có thể chọn một trong ba màu khác nhau. Điều này đưa tổng số các quark thuộc các loại khác nhau lên tới con số 18. Các màu ở đây mang tên của ba màu cơ bản là vàng, đỏ và xanh. Các quark cùng “mùi” đều có khối lượng như nhau, bất kể màu sắc của nó như thế nào. Cũng giống như bạn gọi món kem tráng miệng vậy. Nếu kích cỡ của que kem không đổi, bạn có thể gọi màu nào cũng được, giá tiền vẫn thế vì giá của các chất màu là như nhau. Việc các quark có “màu” khác nhau nhưng lại có cùng một khối lượng còn thể hiện sự ưa thích đối xứng của Tự nhiên. Các quark có cùng một “mùi”, nhưng có “màu” khác nhau, là thể hiện cùng một thực tại vật lý dưới các bộ mặt khác nhau.

Ngoài ra, mỗi quark còn có một điện tích phân số được xác định bởi “mùi” của nó. Chẳng hạn, các quark “trên”, “duyên” và “đỉnh” đều có điện tích dương bằng ⅔ điện tích electron, trong khi đó

các quark "dưới, "lạ" và "đáy" có điện tích âm bằng ⅓ điện tích electron. Các quark trong cùng một họ có thể thay đổi "mùi". Ví dụ một quark "trên" có thể biến đổi thành quark "dưới" và ngược lại. Chúng cũng có thể thay đổi họ, nhưng sẽ khó khăn hơn, và nếu làm như thế thì chúng chỉ có thể biến đổi thành quark có điện tích trái dấu. Ví dụ một quark "trên" có điện tích ⅔ có thể biến đổi thành quark "lạ" có điện tích bằng -⅓, nhưng một quark "trên" bị cấm, không được biến thành quark "duyên" vì cả hai đều có điện tích bằng ⅔.

Vật chất thông thường, như cơ thể bạn, cuốn sách bạn đang cầm trên tay, chiếc đi-văng bạn đang ngồi, bức tường bao quanh bạn, tất cả đều được làm ra bằng hai mùi "up" và "down" của quark. Nói như thế là bởi vì vật chất thông thường được cấu tạo bằng các proton và nơtron. Proton là sự kết hợp của hai quark "up" và một quark "down", điều này đem lại cho nó một điện tích dương bằng nhưng trái dấu với điện tích của electron. Còn nơtron được cấu tạo bởi hai quark "down" và một quark "up", điều này đem lại cho nó một điện tích bằng không. Proton và nơtron đều không có "màu". Các "màu" cơ bản của ba quark tạo thành chúng kết hợp với nhau theo cách hủy nhau, giống như các màu cơ bản của ánh sáng kết hợp với nhau tạo thành ánh sáng trắng. Còn về các "mùi" khác của quark, chúng chỉ can dự vào các vật chất hiếm hơn, chỉ thấy được trong các tia vũ trụ hoặc trong các máy gia tốc hạt. Proton và nơtron cũng như các hạt khác được cấu tạo bởi các quark đều thuộc một họ có tên chung là "hadron" (tiếng Hy Lạp có nghĩa là "mạnh"), đó là tập hợp tất cả các hạt chịu tác dụng của lực hạt nhân mạnh.

Các họ Lepton

Một thành phần cơ bản khác của vật chất thông thường là electron. Hạt này thuộc một họ có tên là "lepton" (tiếng Hy Lạp có nghĩa là yếu). Đây là họ gồm tất cả các hạt không chịu một ảnh hưởng nào của lực hạt nhân mạnh. Cũng như đối với quark, Tự nhiên cũng đã đưa ra một thực đơn gồm sáu "mùi" của lepton, được chia đều cho ba họ. Bạn có thể lựa chọn giữa electron quen thuộc và bạn nó là nơtrinô-electron (đây là hạt chúng ta đã gặp ở trên, nhưng khi đó chúng ta chỉ đơn giản gọi nó là nơtrinô). Hai hạt này hợp thành họ thứ nhất. Tiếp đó là muon và bạn của nó là nơtrinô-muon, hai hạt này hợp thành họ thứ hai. Cuối cùng là tau và nơtrinô-tau hợp thành họ thứ ba. Lại một lần nữa, các lepton có "mùi" khác nhau sẽ có khối lượng khác nhau. Electron là hạt nhẹ nhất, khối lượng của nó chỉ bằng $1/1836$ khối lượng của proton. Tiếp đó là muon có khối lượng trung gian bằng $1/9$ khối lượng proton. Cuối cùng và nặng nhất là tau, khối lượng của nó bằng 1,9 lần khối lượng proton. Về khối lượng của ba loại nơtrinô, người ta còn chưa đo được: chúng có thể không tồn tại hoặc nếu tồn tại thì cực nhỏ. Ví dụ người ta biết rằng khối lượng của nơtrinô- electron, nếu có, phải nhỏ hơn $1/50000$ khối lượng electron. Tau và muon đều mang cùng một điện tích như electron. Trái lại, cả ba nơtrinô đều không mang điện.

Nếu electron có tuổi thọ là vĩnh cửu - một điều thật may mắn cho sự bền vững của vật chất quanh ta và cho chính sức khỏe của chúng ta - thì muon và tau có thời gian sống rất ngắn, khoảng một phần triệu giây, thậm chí nhỏ hơn. Đến nỗi chúng không đóng một vai trò gì đáng kể trong đời sống hằng ngày và người ta chỉ có thể gặp chúng trong các máy gia tốc và các tia vũ trụ. Trong khi các quark tỏ ra ít cứng nhắc trong việc giao du của chúng, thì lại có một

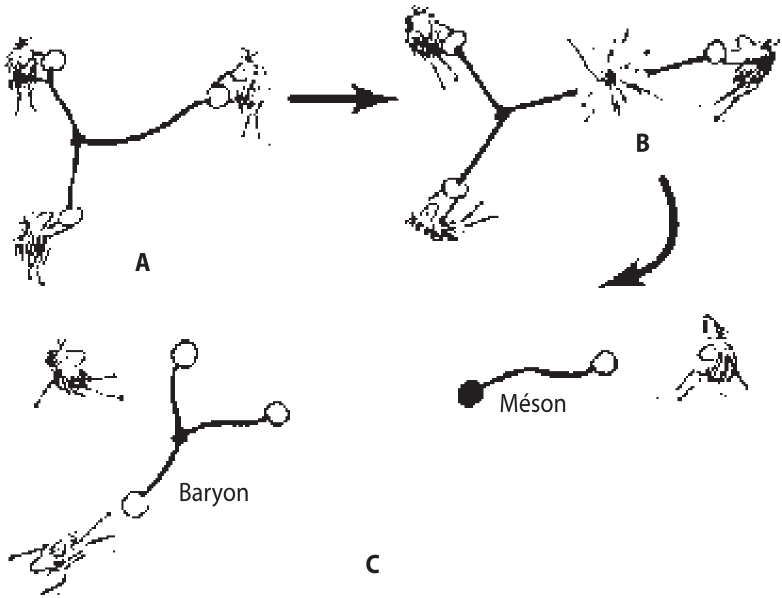
ranh giới rất rạch ròi giữa ba họ lepton. Hai thành viên của cùng một họ luôn ở bên nhau và không bao giờ kết giao với các họ khác. Chẳng hạn một electron có thể biến hóa thành nơtrinô-electron hoặc ngược lại, hay một tau có thể biến hóa thành nơtrinô-tau và ngược lại, nhưng không bao giờ một electron lại có thể biến hóa thành nơtrinô-muon hay nơtrinô-tau.

Các quark không bao giờ được tự do

Như vậy là vật chất đều được cấu thành từ các quark và lepton. Nhưng nếu tất cả sáu "mùi" của lepton đều đã được nhận thấy trong Tự nhiên và thoáng thấy trong các tia vũ trụ và các máy gia tốc hạt, thì tình hình lại không như thế đối với quark. Các quark không bao giờ hạ cố tự trình diện trực tiếp với chúng ta. Lỗi cũng không phải thuộc về các nhà vật lý, những người đã không tóm được chúng. Trong máy gia tốc tuyến tính có độ dài tới 3,2km của trường Đại học Stanford, các nhà vật lý, vào năm 1968, đã phóng những chùm hạt có năng lượng cực lớn vào các proton nhằm phá vỡ chúng để giải phóng các quark. Nhưng họ chẳng thu được kết quả gì. Tuy nhiên, cách thức mà các hạt này va chạm với proton đã chứng tỏ rằng proton cũng có cấu trúc và được cấu tạo bởi ba thực thể hình điểm. Vậy thì tại sao chúng ta lại không thể giải phóng các quark ra khỏi nhà tù của chúng? Câu trả lời nằm ngay trong cách xử sự kỳ quặc của chính các hạt quark này. Nếu hai quark ở rất gần nhau, thì chúng hoàn toàn không biết gì đến nhau và mỗi quark hoạt động như không hề có mặt quark kia. Chúng không cảm thấy bị lực nào tác dụng cả. Cứ như là chúng hoàn toàn tự do vậy (các nhà vật lý gọi điều đó là trạng thái "tự do tiệm cận"), và lực mạnh biến mất. Nhưng ngay khi chúng tách ra xa nhau thì điều ngược

lại xảy ra: chúng bị hút rất mạnh về phía nhau. Và lực mạnh lại xuất hiện. Tình hình này cũng tựa như một cặp tình nhân hay vợ chồng, khi xa nhau thì họ thốt lên rằng tình yêu của họ không gì có thể thay thế được và họ không thể chờ tới ngày tái ngộ, nhưng ngay khi chung sống lại với nhau, sự nồng nàn biến thành sự lạnh nhạt, họ chẳng đếm xỉa gì đến nhau và hầu như không trò chuyện với nhau nữa.

Hành vi này của lực mạnh đối với quark là điều rất không bình thường, nó trái với trực giác dựa trên sự nghiên cứu các tương tác khác của chúng ta. Chẳng hạn, lực điện từ giảm khi khoảng cách giữa hai electron tăng. Hai nam châm càng xa nhau thì tương tác của chúng càng giảm. Cũng tương tự, cường độ lực hấp dẫn tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai khối lượng. Vậy thì làm sao hiểu được hành vi kỳ lạ như thế của lực mạnh? Chúng ta phải hình dung các quark như được buộc với nhau bởi một sợi dây, khi chúng ở gần nhau, sợi dây không bị kéo căng và các quark không cảm thấy một lực nào. Trái lại, khi chúng đi ra xa nhau thì sợi dây bị kéo căng và cản trở sự tự do hoạt động của chúng. Giả sử rằng chúng ta kéo sợi dây mỗi lúc một mạnh. Trực giác của ta mách bảo rằng thể nào rồi sợi dây cũng đứt và các quark sẽ được giải phóng. Nhưng chúng ta đã quên rằng trong khi kéo căng dây, chúng ta đã truyền năng lượng cho sợi dây. Năng lượng này sẽ nhanh chóng vượt qua năng lượng tương ứng với khối lượng của một cặp quark / phản quark (theo Einstein, năng lượng đó bằng khối lượng của cặp quark / phản quark nhân với bình phương vận tốc ánh sáng). Khi sợi dây bị đứt, chúng ta đã thành công không phải ở chỗ giải phóng được quark, mà chỉ là tạo ra được cặp quark - phản quark gắn chặt với nhau và hợp thành hạt có tên là “meson” (H. 49). Như vậy, không bao giờ có thể giải phóng được các quark.



Hình 49. *Sự cầm tù các quark*. Các nhà vật lý cho rằng quark là những viên gạch cơ bản nhất tạo nên vật chất. Thế nhưng chưa từng có ai nhìn thấy quark ở trạng thái tự do cả. Để hiểu tại sao, ta hãy xét một baryon (ví dụ, một proton hoặc một nơtron) gồm ba quark. Các quark này được liên kết với nhau trong baryon đó nhờ lực hạt nhân mạnh, được biểu diễn trên hình A bằng các sợi dây. Giả sử rằng, giống như các yếu tố trong hình B, ta thử giải phóng các quark bằng cách kéo các dây. Một trong các dây bị đứt và giải phóng một lượng lớn năng lượng. Như được thể hiện trên hình C, quark gắn với sợi dây bị đứt cũng không phải là được hoàn toàn tự do. Do tính tương đương giữa năng lượng và vật chất, năng lượng được giải phóng ra lập tức chuyển hóa thành một cặp quark và phản-quark (hạt sau được biểu diễn bằng chấm đen trên hình C). Hạt quark mới được sinh ra thế chỗ cho quark đã bị dứt ra và lại tạo thành baryon ban đầu. Trong khi đó, phản-quark kết hợp với quark bị bứt ra tạo thành một hạt khác có tên là meson. Như vậy, khi định giải phóng quark, các nhân vật trong hình chỉ giải phóng được một meson. Do vậy mà ta không bao giờ nhìn thấy các quark ở trạng thái tự do cả.

Chúng ta cũng không bao giờ thấy được các quark trong thực tại đầy vinh quang của chúng. Muốn tách một quark ra khỏi một proton, chẳng khác nào muốn cách ly cực bắc ra khỏi nam châm: bạn có thể cắt đôi một nam châm, nhưng không thể nhận được một cực bắc và một cực nam riêng rẽ, mà chỉ có thể thấy hai nam châm nhỏ hơn, mỗi cái vẫn đều có cả cực bắc lẫn cực nam.

Photon, hạt truyền tin ma quái

Vậy thế giới không còn là một tập hợp rộng lớn các hạt trơ ì và cô lập, chịu sự tác dụng của các lực cơ giới và tất định, như Newton và Laplace đã từng nghĩ nữa. Cơ học lượng tử nói với chúng ta rằng một thực tại định xứ không còn có ý nghĩa nữa và các hạt là một bộ phận của một tổng thể. Vũ trụ được thống nhất thành một mạng lưới rộng lớn của những mối liên hệ và tương tác. Ý tưởng về một thực tại không định xứ không phải là điều hoàn toàn mới mẻ, bởi vì nó đã được Michael Faraday đề xướng vào cuối thế kỷ XIX. Để giải thích tác dụng xa của các lực điện và từ, như chúng ta đã biết, ông đã tưởng tượng ra những trường rộng lớn của các đường sức xuất phát từ một điện tích hoặc từ một cực nam châm rồi lan tỏa vào không gian. Electron là một chất điểm ngự ở trung tâm của một quầng năng lượng điện từ rộng lớn và không nhìn thấy được. Nếu một electron khác đến gần, nó sẽ cảm nhận thấy ngay ảnh hưởng của trường điện từ này và một lực đẩy sẽ đẩy nó ra. Điều này tựa như electron thứ nhất đã gửi một thông điệp cho electron thứ hai thông qua sự trung gian của trường để nói rằng: “Hãy cút đi!”. Maxwell cho rằng thông điệp này được gửi đi bởi các sóng điện từ truyền với vận tốc ánh sáng trong trường như các đợt sóng trên bề mặt đại dương.

Các nhà vật lý của thế kỷ XX đã lấy lại ý tưởng về trường của Faraday và gộp nó vào cơ học lượng tử để xây dựng một lý thuyết trường có tên là "điện động lực học lượng tử". Lý thuyết này đã có nhiều thành công trong việc giải thích hành trạng của các hạt dưới nguyên tử và phù hợp rất tốt với thực nghiệm. Lý thuyết này nói rằng thông tin không phải được truyền bằng các sóng như Maxwell đã nghĩ, mà nó được truyền bằng các hạt ánh sáng có tên là "photon". Một electron đi đến gần một electron khác. Đường đi của nó bị lệch hướng và nó bị đẩy ra. Theo Maxwell, thủ phạm chính là lực điện từ: nó đẩy các điện tích cùng dấu. Tuy nhiên, nhà vật lý hiện đại sẽ nói rằng hai electron đã trao đổi với nhau một photon truyền tin. Photon này do electron thứ nhất phát ra và bị electron thứ hai hấp thụ. Điều này tựa như electron thứ nhất bắn một viên đạn đại bác và bị giật lùi lại do tác động của việc bắn, trong khi đó electron thứ hai bị lệch hướng bởi quả đạn chạm vào. Các electron không chỉ trao đổi một photon, mà có thể trao đổi hai hoặc nhiều hơn, song các loại tương tác sau ít xảy ra và cũng không mấy quan trọng.

Các photon làm hạt truyền tin thì quá thuận tiện rồi, nhưng chúng từ đâu mà ra? Để tồn tại, chúng cần phải có năng lượng. Nhưng năng lượng ấy lấy từ đâu? Ở đây có sự tham gia của hiện tượng nhòe lượng tử của năng lượng. Nhờ nguyên lý bất định, các photon có thể vay mượn năng lượng từ ngân hàng Tự nhiên để được vật chất hóa. Tuy nhiên, sự vay mượn này phải chịu những điều kiện được quy định rất chặt chẽ bởi nguyên lý bất định. Vay càng nhiều năng lượng thì thời hạn phải trả càng ngắn. Tự nhiên đòi nợ thì photon phải trả hết năng lượng của mình và biến mất trong thời gian vô cùng ngắn ngủi, do bị một electron khác hấp thụ. Như vậy, các photon này tồn tại như ma (vì thế người ta còn gọi chúng là hạt "ảo"), chúng xuất hiện rồi biến đi trong những vòng

luân hồi khủng khiếp của sự sống và cái chết. Sự bất định lượng tử làm cho mỗi electron đều được bao quanh bởi một đàn photon ảo như thể một bầy ong vo ve quanh tổ của chúng vậy. Những photon ở gần electron nhất là những photon có nhiều năng lượng nhất, bởi vì chúng chỉ cần rất ít thời gian để trả món nợ năng lượng để rồi bị hấp thụ. Trái lại, những photon ở xa không được hưởng sự ưu đãi vay nhiều năng lượng, vì nó cần nhiều thời gian hơn để trả nợ. Mỗi electron đều chìm ngập trong đại dương sôi sục của các photon ảo, đại dương đó không gì khác chính là trường điện từ mà Faraday đã đề xuất. Nếu có một electron thứ hai mò đến từ một cuộc phiêu du và lạc vào vùng sôi sục này, nó có thể hấp thụ một trong số vô vàn các photon ảo nhung nhúc bao quanh electron thứ nhất. Photon bị hấp thụ đóng vai trò như người truyền tin và nói với electron thứ hai cần phải cư xử như thế nào và chúng ta sẽ thấy nó đi lệch khỏi quỹ đạo ban đầu. Các photon truyền tin mãi mãi ở trạng thái ảo, và chúng ta không thể nhìn thấy chúng vì vòng đời của chúng quá ngắn ngủi. Tuy nhiên, sự tồn tại của các photon này là bắt buộc phải có để lý thuyết "điện động lực học lượng tử" tái hiện được hành trạng của Tự nhiên.

Lực mạnh và các Gluon

Nếu lực điện từ được truyền đi bởi các photon ảo, thì các lực khác có như vậy không? Ngoài lực điện từ ra, Vũ trụ còn bị chi phối bởi ba lực khác mà chúng ta đã làm quen: lực hạt nhân mạnh là lực giữ cho các quark gắn kết với nhau trong proton và nơtron, nó cũng liên kết các proton và nơtron để tạo thành hạt nhân nguyên tử; lực hạt nhân yếu là lực gây ra sự phân rã của các hạt nhân nguyên tử (hiện tượng phóng xạ); cuối cùng, lực hấp dẫn là lực giữ cho chúng

ta gắn với Trái đất, giữ cho các hành tinh quay quanh Mặt trời, tập hợp vài trăm tỷ ngôi sao trong dải Ngân Hà và ngăn không cho các đám thiên hà bị phân tán. Liệu ba lực này có được truyền đi bởi các hạt đưa tin? Câu trả lời là *có* đối với các lực hạt nhân mạnh và yếu. Song đối với lực hấp dẫn thì ta chưa có câu trả lời chắc chắn.

Hiện nay người ta cho rằng, lực hạt nhân mạnh được truyền đi bởi 8 hạt đưa tin có tên là "gluon". Con số 8 thường hay đến trong vật lý các hạt, bởi lẽ nó là hệ quả của một nguyên lý đối xứng trong thế giới nội nguyên tử (nhà vật lý Mỹ Murray Gell-Mann gọi nguyên lý này là "Bát chính đạo" do liên hệ tới 8 con đường của đạo Phật dẫn đến Niết bàn: Chính kiến, Chính tư duy, Chính ngữ, Chính nghiệp, Chính mệnh, Chính tinh tiến, Chính niệm và Chính định). Cần có 8 gluon để tính đến sự đa dạng các "mùi" của quark. Để xét tới các "màu" của quark, mỗi gluon, giống như quark, cũng được đặc trưng bởi ba màu cơ bản là xanh, đỏ và vàng. Các gluon chuyển qua chuyển lại giữa các quark, được phát ra bởi một quark và bị hấp thụ bởi một quark khác, chẳng khác gì các nhà ngoại giao không mệt mỏi đem các thông điệp của một nguyên thủ quốc gia này đến một nguyên thủ quốc gia khác, hoặc tựa như bà mối ngày xưa chuyển không mệt mỏi các bức thư tình giữa các cặp tình nhân. Do có sự truyền qua truyền lại liên tục này mà gluon giữ cho các quark cùng nhau ở trong các nhà tù proton và nơtron, và kết dính những hạt sau trong các hạt nhân nguyên tử (cái tên gluon bắt nguồn từ chữ *glue* - tiếng Anh có nghĩa là "keo dính"). Cũng giống như quark, các gluon bị cầm tù vĩnh viễn và ta không bao giờ có thể nhìn thấy chúng trong trạng thái tự do. Và giống như các photon, hạt truyền tin của lực điện từ, các gluon cũng không có khối lượng, không mang điện và chuyển động với tốc độ ánh sáng. Nếu Tự nhiên được tạo bởi các quark và electron

thì các gluon và photon được sử dụng như các hạt liên lạc, truyền tin. Không có photon, chúng ta không thể liên lạc với các ngôi sao và thiên hà xa xôi, cũng không thể nhận được những thông điệp của chúng về vẻ đẹp, sự hài hòa và tính phổ quát. Không có gluon thì cũng không có hương thơm của hoa hồng và không có những cảnh hoàng hôn tráng lệ làm đẹp cuộc sống của chúng ta.

Lực yếu và các tấm kính ảnh

Nếu lực điện từ và lực hạt nhân mạnh, mỗi lực đều có các hạt truyền tin của mình, thì lực hạt nhân yếu cũng không chịu thua kém. Lực này xuất hiện trong thế giới vật lý vào năm 1896, khi nhà vật lý Pháp Henri Becquerel (1852-1934) ngẫu nhiên phát hiện ra rằng kính ảnh bị đen khi có mặt một khối lượng urani. Marie và Pierre Curie (1867-1934 và 1859-1906) đã chứng tỏ được rằng hiệu ứng này không hề giảm cường độ theo thời gian, và rằng một nguyên tố khác tên là radi có thể làm nóng và bốc hơi hoàn toàn một khối băng mà bề ngoài của nó không thay đổi một cách rõ rệt. Urani và radi rõ ràng đã phát ra một loại bức xạ mới, được tạo ra bởi một lực không thể là lực hấp dẫn và cũng không phải là lực điện từ. Người ta nhanh chóng hiểu được rằng hai nguyên tố hóa học này là những chất phóng xạ chứa các hạt nhân không bền. Khi sắp xếp lại cấu trúc bên trong của mình, các hạt nhân đó đã phóng ra các hạt có năng lượng lớn làm đen kính ảnh và làm bốc hơi các khối băng. Những chất phóng xạ này đều là nguồn phát các hạt có năng lượng cao mà các nhà vật lý thường dùng để bắn phá vật chất và nghiên cứu cấu trúc của nó trước khi các máy gia tốc ra đời.

Cũng như các lực khác, lực yếu được truyền đi bởi các hạt đưa tin. Nhưng lần này, số lượng của chúng là ba. Người ta đặt cho

chúng những cái tên không mấy thơ mộng, đó là W+ và W (theo chữ đầu của từ tiếng Anh *weak*, có nghĩa là "yếu") và Z. Trái với các gluon bị cầm tù và không thể nhìn thấy, các hạt này đã được phát hiện từ năm 1984 trong một máy gia tốc cỡ lớn của CERN (Trung tâm nghiên cứu hạt nhân châu Âu). Lực yếu đúng là yếu bởi vì tầm tác dụng của nó cực kỳ ngắn, ngắn hơn nhiều so với tầm của lực mạnh vốn đã cực kỳ nhỏ. Tầm của nó ngắn đến nỗi rất ít khả năng để một hạt có thể đến gần một hạt khác để cảm nhận được lực yếu của nó. Đó là lý do lực này không thể liên kết được các hạt với nhau và cũng không dùng để làm keo dính như các lực khác được. Nó đành phải bằng lòng làm cho các hạt trở nên phù du. Chẳng hạn nó làm cho tất cả các quark, trừ quark nhẹ nhất là quark "up", và tất cả các lepton mang điện tích, trừ electron là lepton nhẹ nhất, đều trở nên không bền. Nó khiến cho các quark và lepton rốt cục đều bị phân rã để trở thành một dạng bền vững hơn, tức là biến thành quark "up", electron và nơtrinô. Các hạt nơtrinô bền vững bởi dù là lepton, nhưng chúng không mang điện tích. Hầu hết các hạt đều chịu tác dụng của lực yếu. Chỉ có photon và gluon là vô cảm với nó.

Tầm tác dụng cực ngắn của lực yếu (nhỏ hơn một phần triệu tỷ xentimét) so với lực điện từ là do sự quá "vạm vỡ" của các hạt truyền tin mà ra. Khối lượng của các hạt W bằng 85 lần khối lượng của proton, còn khối lượng của Z bằng 95 lần. Trong khi các photon không có khối lượng, có thể rong chơi, nhảy nhót thoải mái trong một phạm vi bao la, mà không bao giờ bị kìm hãm bởi trọng lượng cơ thể của nó, thì trái lại, các hạt W và Z đều quá nặng nề, khiến cho chúng không thể phiêu lưu đi quá xa nơi chúng sinh ra. Lực yếu hầu như không bao giờ lộ mặt trong đời sống hằng ngày (Không phải ở bất cứ góc phố nào ta cũng gặp các

sản phẩm phóng xạ, và điều này thật may mắn cho sức khỏe của chúng ta, bởi vì các hạt phát ra năng lượng cao này đều rất độc hại. Ngoài ra, chúng còn có thể gây ra các dị dạng gen). Nhưng lực yếu lại chịu trách nhiệm về sự tồn tại của chúng ta. Thực vậy, các phản ứng nhiệt hạch, nguồn cung cấp lửa sống cho các vì sao, đặc biệt là cho Mặt trời, sẽ không thể khởi phát được nếu không có sự can thiệp của lực yếu.

Mối quan hệ họ hàng khó tin nhưng có thực của lực điện từ và lực yếu

Thoạt nhìn, lực yếu hoàn toàn khác với lực điện từ. Lực yếu có một tầm tác dụng cực nhỏ, nhỏ hơn nhiều so với kích thước hạt nhân của nguyên tử, trong khi đó lực điện từ có tầm tác dụng vô cùng lớn. Không còn gì có thể nhẹ hơn photon, hạt truyền tin của lực điện từ, tức là hạt không có khối lượng và nó lang thang trong Vũ trụ với vận tốc lớn nhất có thể có, tức là vận tốc ánh sáng. Ngược lại, các hạt W và Z, những hạt truyền tin của lực yếu, lại lạch bạch bởi vóc dáng ục ịch của mình. Tuy nhiên, giữa chúng cũng có những nét giống nhau, đặc biệt là những gì liên quan đến spin. Tất cả các hạt đều có một *spin*. Nói một cách nôm na, các hạt đều tự quay quanh mình nó như những con quay. Song chúng không thể muốn quay thế nào cũng được. Cơ học lượng tử đã áp đặt cho chúng những quy tắc rất ngặt nghèo. Chẳng hạn các hạt mang tên “boson” (để tôn vinh nhà vật lý Ấn Độ Satyandranath Bose) có spin không phải là bất cứ giá trị nào, mà bắt buộc phải là những bội số nguyên (0, 1, 2...) của “hằng số Planck”. Photon, W, Z đều thuộc về họ các boson có spin bằng 1. Nếu các hạt truyền tin, hay cũng truyền tương tác là các boson thì các hạt vật chất (như electron, các lepton khác và quark) đều thuộc về họ các hạt có tên

là "fermion" (để tôn vinh nhà nhà vật lý Italia Enrico Fermi [1901-1954]). Các hạt thuộc họ này cũng có spin, nhưng nó chỉ có thể là một bội số bán nguyên (½, ³⁄₂,...) của hằng số Plank.

Như vậy photon, các W và Z đều có spin bằng 1. Xem ra giữa chúng cũng có vẻ gì đấy có họ hàng với nhau, mặc dù còn rất nhiều thứ không giống nhau. Điều này cũng tựa như hai người có khuôn mặt giống nhau, nhưng người này thì gầy và dài ngoẵng như một sợi dây thép trong khi người kia lại chiếm kỷ lục về cân nặng và béo phì. Vậy suy cho cùng, liệu có một mối quan hệ họ hàng nào giữa các hạt truyền tin của lực yếu và lực điện từ hay không? Nhà vật lý Pakistan Abdus Salam (1926-) và nhà vật lý Mỹ Steven Weinberg (1933-) đã cho câu trả lời khẳng định. Năm 1967 họ đã thống nhất được hai lực đó làm một. Để làm việc này, họ một lần nữa lại phải cầu viện đến một nguyên lý đối xứng. Như chúng ta đã thấy, nơtron là người anh em sinh đôi "có râu" của proton, nếu thay đổi một thuộc tính trừu tượng có tên là spin đồng vị thì proton sẽ biến thành nơtron. Tương tự như thế, cả Salam và Weinberg đều đã chứng minh được rằng photon, các W và Z cũng là anh em sinh ba giống hệt nhau, nhưng ngay từ lúc mới sinh, chúng đã bị tách riêng ra và chỉ còn giữ được một kỷ niệm rất xa xôi về nguồn gốc chung của mình. Nếu như hiện nay chúng không để lộ gì về mối quan hệ họ hàng của mình, đó là bởi vì chúng ta đang sống trong một Vũ trụ năng lượng quá thấp và quá nguội lạnh.

Ngày hôm nay chúng ta cho rằng cách đây khoảng 15 tỷ năm, một vụ nổ khủng khiếp, Big Bang, đã sinh ra Vũ trụ, không gian và thời gian. Kể từ đó, tính phức tạp không ngừng gia tăng. Từ một chân không dưới nguyên tử đã lần lượt sinh ra các quark và electron, các proton và nơtron, các nguyên tử, các ngôi sao và các thiên hà. Một tấm thảm mênh mông của Vũ trụ đã được dệt lên,

bao gồm hàng trăm tỷ thiên hà, mỗi thiên hà lại được kết thành bởi hàng trăm tỷ ngôi sao. Ở vùng gần biên của một trong số các thiên hà đó, trên một hành tinh ở gần một ngôi sao, đã xuất hiện con người có khả năng kinh ngạc trước vẻ đẹp và sự hài hòa của Vũ trụ, có ý thức và trí thông minh để tìm hiểu Vũ trụ. Dần dần, theo mức độ già đi của Vũ trụ, nó dường như chùng lại và tạo ra ngày càng nhiều hơn không gian giữa các thiên hà và đồng thời cũng nguội lạnh đi. Bức xạ hóa thạch (cũng còn gọi là bức xạ nền hoặc bức xạ phông), hay nói cách khác là nhiệt còn sót lại của ngọn lửa Sáng thế, chỉ còn ở nhiệt độ băng giá -270^{o}C! Tuy nhiên, ở cội nguồn của nó, tức là vào thời điểm 10^{-43} giây sau Big Bang, Vũ trụ đã đạt tới một nhiệt độ không thể tưởng tượng nổi là 10^{32} độ, nóng hơn tất cả mọi địa ngục mà Dante (1265-1321) có thể tưởng tượng ra. Khi đồng hồ Vũ trụ điểm một phần triệu triệu (10^{-12}) giây sau Big Bang, Vũ trụ vẫn còn nóng tới 1 triệu tỷ độ. Trong những phần giây đầu tiên này, Vũ trụ chỉ là một món súp nguyên thủy của các hạt cơ bản, trong đó có các hạt W và hạt Z. Nhưng nhiệt độ cực cao có nghĩa là năng lượng cực lớn và các hạt chuyển động cực nhanh. Động năng của các hạt W và Z lớn đến mức nó vượt quá xa năng lượng ứng với khối lượng của chúng. Do đó, khối lượng này không đáng kể và người ta có thể coi các hạt W và Z là không có khối lượng giống như các photon vậy. Như vậy, trong môi trường năng lượng cực lớn như môi trường Vũ trụ nguyên thủy, các hạt W và Z đều là anh em với photon. "Chúng ta đều là con một nhà mà - ngày hôm nay các hạt W và Z nói với photon - Các anh cũng là những hạt truyền tin có hiệu quả chẳng kém gì em. Chỉ có điều, ở năng lượng thấp, trong một Vũ trụ đã lạnh đi rất nhiều, các anh rất khốn khổ vì thân thể quá mập, nên không thể đi xa bằng em để trao các thông tin mà thôi".

Bằng cách sử dụng các nguyên lý đối xứng trừu tượng, Salam và Weinberg đã chứng minh rằng ngay từ buổi ban đầu của Vũ trụ, khi nó chỉ mới có kích thước bằng 1 phần nghìn đường kính của một proton (10^{-16}cm) và năng lượng của môi trường xung quanh bằng vài trăm lần năng lượng tương ứng với khối lượng của proton, hai lực điện từ và hạt nhân yếu đã thống nhất thành một lực duy nhất gọi là lực điện-yếu. Chỉ sau khi đồng hồ Vũ trụ điểm 10^{-12} giây và động năng của các hạt W và Z giảm tới mức khiến cho tầm vóc to béo gây phiền phức cho chúng trong chuyển động, sự hợp nhất ấy mới bị phá vỡ và hai lực từ đó mới sống cuộc đời riêng biệt.

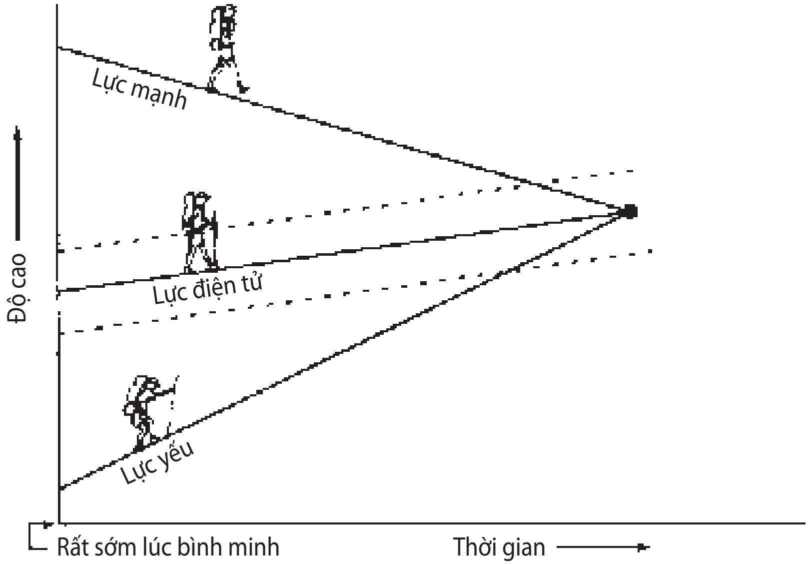
Sự thống nhất lớn

Thế là photon, các hạt W và Z đã gặp lại nhau, nước mắt rưng rưng vì sung sướng. Một sự đoàn tụ bất ngờ nhất đã được hoàn thành. Nhưng rồi nỗi xúc động cũng qua đi, các nhà vật lý bèn quay sang phía 8 gluon, những hạt truyền tin của lực hạt nhân mạnh. Liệu có thể có những mối liên hệ họ hàng tương tự giữa các hạt này với các hạt truyền tin khác hay không? Một khi đã có sự thống nhất của hai lực, thì tại sao lại không thể cả ba lực? Sau hết, tất cả các hạt truyền tin hay truyền tương tác đều là thành viên của cùng một họ gồm 12 boson với spin 1... “Không thể được!”- cả 8 gluon đều đồng thanh nói vậy. “Chúng ta không có gì chung với các hạt truyền tin khác. Chúng ta đều khỏe mạnh chứ đâu yếu đuối như các hạt khác”. Song, nếu những lý lẽ này là đúng đối với một Vũ trụ giá lạnh và năng lượng thấp, thì đối với một Vũ trụ nóng bỏng và năng lượng cao, nó không còn đúng nữa. Năng lượng càng cao thì các hạt được phát ra với hết tốc lực có thể “xáp”

lại gần nhau. Mà như chúng ta đã biết, nếu các quark (hạt có các gluon làm hạt truyền tin) ở rất gần nhau thì chúng dường như là tự do. Lực mạnh giảm cường độ của nó tới mức nó trở nên không đáng kể. Trái lại, lực điện từ có hành trạng hoàn toàn ngược lại: khoảng cách giữa các hạt càng giảm thì cường độ của lực đó càng tăng. Nếu một lực tăng và lực kia lại giảm theo năng lượng của Vũ trụ, ắt phải có một giá trị năng lượng đặc biệt, ở đó hai lực đều trở thành ngang nhau về cường độ. Nói cách khác, một sự tăng năng lượng đem lại cho lực điện từ một cơ may đuổi kịp và ngang bằng với lực mạnh. Trong Vũ trụ hiện nay với năng lượng thấp, lực điện từ yếu hơn 100 lần so với lực mạnh.

Nhưng lại một vấn đề được đặt ra: năng lượng mà ở đó lực mạnh và lực điện từ hợp nhất với nhau liệu có phải là năng lượng tại đó lực yếu và lực điện từ đã từng thống nhất làm một? Thực ra, muốn cho "sự thống nhất lớn" có thể thực hiện được (người ta gọi là "thống nhất lớn" để phân biệt với sự "thống nhất" giản đơn của lực yếu và lực điện từ), Tự nhiên phải sắp xếp để có được một cuộc gặp mặt tay ba. Tình hình này giống như ba nhà leo núi (hình 50), một được gọi là "Mạnh" đi từ núi xuống, còn hai người kia, có tên là "Yếu" và "Điện từ", thì leo từ dưới lên. Cả ba nhà leo núi cần phải tính toán mỗi bước đi sao cho cả ba cùng đến nơi hẹn ở lưng chừng núi cùng một lúc. "Yếu" khởi hành từ một độ cao thấp nhất nên phải rảo bước mới đuổi kịp "Điện từ", người xuất phát từ một điểm ở cao hơn. Trái lại, "Điện từ" không thể leo quá nhanh, còn "Mạnh" cũng không thể xuống như chạy, để tránh không gặp nhau trước khi "Yếu" đuổi kịp họ. Sự điều chỉnh này cốt là để đồng bộ hóa cuộc hẹn cho cả ba, nó phải rất chính xác và tinh tế, nhưng Tự nhiên dường như đã làm được việc đó. Cường độ tương đối của ba lực (tương ứng với độ cao tương đối

của điểm xuất phát của ba nhà leo núi) có giá trị vừa đúng theo đòi hỏi để cho “sự thống nhất lớn” được thực hiện. Cả ba lực đã trở thành một lực khi chúng ta đi ngược dòng thời gian đến thời điểm 10^{-35} giây, khi mà năng lượng của Vũ trụ lớn gấp một trăm nghìn tỷ (10^{14}) lần năng lượng nghỉ của proton và khi nó chỉ có kích thước bằng một phần nghìn tỷ tỷ tỷ (10^{-30}) xentimét.



Hình 50. *Cuộc gặp gỡ đã được đồng bộ*. Tình huống thống nhất ba lực, lực điện từ với hai lực hạt nhân mạnh và yếu, ở một nhiệt độ và thời kỳ trong quá khứ của Vũ trụ, tương tự như tình huống của ba nhà leo núi, xuất phát từ những độ cao khác nhau và phải đồng thời gặp nhau tại cùng một địa điểm ở lưng chừng núi. Các nhà leo núi “Điện từ” và “Yếu” phải leo lên (cũng như hai lực tương ứng phải tăng mạnh trong quá khứ của Vũ trụ), trong khi đó nhà leo núi “Mạnh” phải đi xuống (cũng như lực tương ứng phải giảm mạnh trong quá khứ).

Như vậy, photon nhỏ con thường buồn phiền vì là đứa con độc nhất, đột nhiên tìm thấy cả một bầu đoàn mười một anh chị em. Khi gặp hai hạt W và Z, nó không sao hình dung nổi là mình có điểm chung nào với các ông anh béo phì như thế. Rồi nó cũng phát hiện ra rằng các hạt này, trước kia, khi Vũ trụ còn có năng lượng lớn, bản thân chúng cũng không có khối lượng; và xét cho cùng chúng đều là anh em của nhau. Tiếp đó là 8 gluon rất khác biệt về lực và sức mạnh. Nhưng rồi người ta thấy rằng trong một Vũ trụ có năng lượng còn lớn hơn nữa, các gluon sẽ mất hết sức mạnh, trong khi photon, các hạt W và Z lại có thêm sức mạnh. Điều đó khiến cho ngay ở lúc khởi thủy, bấy nhiêu anh em thực ra chỉ là một.

Cái vô cùng bé đẻ ra cái vô cùng lớn

Liệu một lúc nào đó chúng ta có thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm lý thuyết của "sự thống nhất lớn"? Người ta đã phải cầu viện tới các máy gia tốc hạt. Thực tế, các máy này là những kính hiển vi khổng lồ. Các nhà vật lý thường dùng chúng để bắn phá vật chất bằng những chùm hạt có năng lượng cực lớn, có khả năng phá vỡ vật chất thành nghìn mảnh. Năng lượng càng lớn thì các nhà vật lý càng đi sâu được vào vật chất để khảo cứu các kích thước vô cùng bé. Sự thống nhất của lực yếu và lực điện từ được thực hiện ở kích thước bằng một phần mười triệu tỷ (10^{-16}) xentimét. Các máy gia tốc cỡ lớn hiện nay có thể đạt tới những mức năng lượng cho phép nhìn thấy cái nhỏ bé như thế. Chẳng hạn các máy gia tốc của CERN đã khẳng định được sự thống nhất của hai lực trên bằng việc khám phá ra các hạt W và Z với các khối lượng đúng như lý thuyết đã tiên đoán. Song, sự thống nhất lớn của lực điện từ với hai lực hạt nhân mạnh và yếu chỉ có thể xảy ra ở kích thước siêu nhỏ, cỡ 10^{-30} cm, tức 100.000 tỷ lần nhỏ hơn so

với thang xảy ra sự thống nhất của lực yếu và lực điện từ. Hiện nay chúng ta chưa thể sớm làm ra các máy gia tốc có khả năng đạt tới những mức năng lượng đòi hỏi để nhìn thấy các kích thước nhỏ bé như vậy. Nếu có một máy gia tốc như thế, thì chưa kể đến việc phải có một bước tiến nhảy vọt về công nghệ, nó sẽ phải có kích thước lớn hơn đường kính Trái đất và trải dài cho đến tận ngôi sao gần nhất, một điều hoàn toàn phi thực tế! Đứng trước tình hình đó các nhà vật lý đành phải quay sang chiếc máy gia tốc hạt lớn nhất: đó chính là bản thân Vũ trụ.

Một trong những bước phát triển khoa học nổi bật nhất trong 20 năm qua, không còn nghi ngờ gì nữa, là sự kết hợp giữa vật lý hạt và vũ trụ học. Vũ trụ bao la của chúng ta khởi đầu từ một trạng thái nhỏ bé, nóng bỏng và đậm đặc không thể tưởng tượng nổi, với những mức nhiệt độ và năng lượng đạt tới giá trị cực hạn, chưa bao giờ có thể xuất hiện được trên Trái đất, mà chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng của con người. Thí nghiệm lớn đó đã được thực hiện một lần cho mãi mãi, cách đây 15 tỷ năm và giờ đây chúng ta quay trở lại để chiêm ngưỡng Vũ trụ đó, tái hiện lại lịch sử của nó. Vậy là cái vô cùng bé đã sinh ra cái vô cùng lớn. Chính vì thế mà sự hợp tác giữa các nhà vật lý thiên văn và các nhà vật lý hạt là điều hết sức tự nhiên. Sự liên minh này lại càng quan trọng hơn nữa khi nhà vật lý thiên văn không thể trực tiếp đi ngược đến tận cội nguồn của Vũ trụ với các công cụ của mình. Thực tế, họ khám phá quá khứ của Vũ trụ chỉ nhờ vào các kính thiên văn, những máy đi ngược dòng thời gian. Vì ánh sáng phải mất một thời gian mới đến được chỗ chúng ta, nên sự quan sát Vũ trụ của chúng ta luôn có một độ trễ nhất định. Chẳng hạn Mặt trăng mà chúng ta nhìn thấy hiện thời chính là hình ảnh của nó trước đó hơn một giây, Mặt trời ta nhìn thấy hiện thời chính là hình ảnh của nó trước đó 8 phút,

ngôi sao gần nhất ta nhìn thấy hiện thời chính là hình ảnh của nó trước đó 4 năm, thiên hà gần dải Ngân Hà nhất ta nhìn thấy hiện thời chính là hình ảnh của nó trước đó 2 triệu năm, v.v... Điều này có nghĩa là càng nhìn xa càng thấy sớm. Từ đó, liệu chúng ta có thể hy vọng rằng bằng cách chế tạo các kính thiên văn ngày càng lớn hơn, mạnh hơn, một ngày nào đó, chúng ta có thể sẽ nhìn thấy thời điểm Sáng thế? Câu trả lời là không thể được. Vũ trụ đậm đặc và nóng bỏng trong suốt 300.000 năm tồn tại đầu tiên của nó, đến mức ánh sáng hoàn toàn không thể truyền đi được và Vũ trụ là hoàn toàn không trong suốt. Ở đó có một rào chắn tự nhiên mà các kính thiên văn không thể vượt qua được. Hình ảnh xa xưa nhất của Vũ trụ do vệ tinh COBE chụp được từ năm 1991, được xác định là vào thời kỳ chỉ cách đây 300.000 năm.

Vậy thì làm thế nào để vượt qua được bức tường chắn không trong suốt này? Nếu nhà vật lý thiên văn tỏ ra bất lực thì đã có nhà vật lý hạt sẽ đến ứng cứu. Bởi vì từ vụ nổ nguyên thủy cho đến năm 300.000 sau Big Bang, vật chất trong Vũ trụ nóng và đậm đặc hiện thân dưới dạng các hạt cơ bản có năng lượng cực cao. Thực ra, ở thời kỳ đầu, Vũ trụ chẳng qua chỉ là một máy gia tốc hạt cực lớn. Chính vì vậy mà các máy gia tốc, giống như một hình xuyến khổng lồ, có kích thước cỡ hàng chục kilômét đặt tại CERN (Trung tâm nghiên cứu hạt nhân châu Âu), Thuỵ Sĩ, đã thay thế cho các kính thiên văn, giúp chúng ta đi ngược dòng lịch sử của Vũ trụ đến tận 10^{-12} giây sau Big Bang. Song để đi xa hơn nữa ngược dòng thời gian, cần phải chế tạo những máy gia tốc còn lớn hơn và đắt tiền hơn nữa, do vậy mà còn lâu mới làm được. Vì thế muốn khám phá thời kỳ giữa Vụ nổ nguyên thủy (Big Bang) và một phần nghìn tỷ giây đầu tiên của Vũ trụ sau Big Bang, cần phải cầu viện đến lý thuyết ở phần trên, mà các nhà vật lý gọi là “Mô hình chuẩn”.

Câu trả lời cho một số câu hỏi trong số các vấn đề bức xúc nhất và cơ bản nhất của Vũ trụ học ngày nay phụ thuộc vào sự hiểu biết của chúng ta về các sự kiện đã xảy ra trong phần giây đầu tiên đó của Vũ trụ. Tại sao Vũ trụ lại được làm ra bằng vật chất chứ không phải bằng vật chất và phản vật chất với số lượng ngang nhau? Những hạt mầm của các Thiên hà, những hạt đã dệt nên bức thảm bao la của Vũ trụ, đã được tạo ra như thế nào? Rồi lại còn vấn đề khối lượng không nhìn thấy hay vật chất tối của Vũ trụ nữa. Thực ra, chúng ta đang sống trong một vũ trụ giống như một tảng băng trôi, trong đó 90 đến 98% khối lượng của nó không thể nhìn thấy được trực tiếp bằng kính thiên văn (phần chìm của tảng băng), do chúng không phát ra bức xạ. Tuy nhiên, như chúng ta đã nói, có một sự khác nhau quan trọng giữa tảng băng và Vũ trụ. Trong khi chúng ta biết rõ khối lượng chìm dưới nước của tảng băng được cấu tạo bằng gì, thì bản chất của khối lượng không nhìn thấy của Vũ trụ vẫn là một thách đố ghê gớm đối với trí tuệ con người. Trong khi "mô hình chuẩn" mô tả vật chất thường (như proton, nơtron, electron), thì sự mở rộng của nó lại "tiên đoán" sự tồn tại của các hạt nặng được sinh ra trong những khoảnh khắc đầu tiên của Vũ trụ và có một bản chất khác với vật chất cấu thành nên chúng ta. Và rất có thể một số vật chất đó tạo nên vật chất tối của Vũ trụ. Nếu đúng như vậy, bóng ma Copernicus lại một lần nữa xuất hiện. Bây giờ, chẳng những chúng ta không còn chiếm giữ vị trí trung tâm của Vũ trụ nữa và chúng ta cũng chỉ đại diện trong một chớp mắt cho lịch sử của nó, mà thậm chí chúng ta còn không được cấu tạo bởi cùng một vật chất như đại bộ phận của Vũ trụ!

Còn một vấn đề khác. Sự tiến hóa của Vũ trụ được quyết định bởi các điều kiện ban đầu (như tốc độ giãn nở ban đầu hoặc khối lượng ban đầu của vật chất) và bởi khoảng mười lăm con số được

gọi là các hằng số vật lý (như vận tốc ánh sáng hoặc khối lượng electron...). Chúng ta đã đo giá trị của các hằng số đó với một độ chính xác rất cao, song lúc này chúng ta chưa có một lý thuyết nào để giải thích chúng. Một trong số những ghi nhận đáng kinh ngạc nhất của Vũ trụ học hiện đại là sự điều chỉnh cực kỳ chính xác những điều kiện ban đầu và các hằng số vật lý, để cùng hướng vào mục tiêu là cho phép xuất hiện người quan sát trong Vũ trụ của chúng ta. Sự ghi nhận này được gọi là "nguyên lý vị nhân". Chỉ cần thay đổi đôi chút các điều kiện ban đầu và các hằng số vật lý là Vũ trụ sẽ trở thành trống rỗng và khô cằn, và chúng ta cũng chẳng có mặt trên đời này để mà nói về nó nữa. Sự chính xác của việc điều chỉnh đó tỏ ra cực kỳ đáng kinh ngạc: ví dụ tốc độ giãn nở ban đầu của Vũ trụ đã được điều chỉnh với một độ chính xác tới mức có thể so với một người bắn cung muốn bắn một mũi tên vào một mục tiêu rộng $1cm^2$ đặt ở đầu bên kia Vũ trụ, cách xa 15 tỷ năm ánh sáng. Liệu một ngày nào đó, "mô hình chuẩn" có biến thành một lý thuyết giải thích được tất cả, kể cả giá trị của các hằng số vật lý lẫn các điều kiện ban đầu?

Cái chết của Proton

Có một cách khác để kiểm chứng bằng thực nghiệm lý thuyết thống nhất lớn mà không cần viện đến các máy gia tốc hạt cực mạnh. Thực nghiệm này liên quan với cái chết của proton. "Lực thống nhất lớn", kết quả thống nhất của ba lực gồm hai lực hạt nhân và lực điện từ, cũng có một hạt truyền tin được ký hiệu là X. Cũng giống như các hạt truyền tin khác, hạt X phải vay mượn năng lượng từ ngân hàng Tự nhiên, để có được sự tồn tại ảo của mình. Song hạt này lại cực kỳ ục ịch: khối lượng của nó bằng một phần mười tỷ gam, tức 100.000 tỷ (10^{14}) lần lớn hơn khối lượng

proton. Điều này có nghĩa là sự tồn tại của nó cực kỳ ngắn ngủi (nó phải trả lại rất nhanh cho ngân hàng Tự nhiên khoản nợ năng lượng lớn của nó) và tầm tác dụng của nó cũng vô cùng nhỏ. Như vậy, một hạt X có thể xuất hiện đột ngột ở bên trong một proton nhưng lại không thể sống lâu hơn một phần trăm triệu tỷ, tỷ, tỷ (10^{-35}) giây trước khi biến mất. Trong thời gian xuất hiện ngắn ngủi đó, nó chỉ có thể đi được một khoảng cách vô cùng ngắn, cỡ 10^{-25}cm, tức là một nghìn tỷ lần nhỏ hơn đường kính một proton. Do chỉ có ba quark trong phòng khiêu vũ rộng mênh mông của proton, nên khả năng hạt X bị một quark khác với quark đã sinh ra nó hấp thụ là vô cùng nhỏ. Để làm việc ấy hai quark cần phải tiến lại gần nhau dưới 10^{-25}cm. Xác suất xảy ra một cuộc gặp gỡ như thế là vô cùng nhỏ. Nó có thể so với xác suất để 2 con ruồi trong tổng số 3 con, gặp nhau bất ngờ trong một nhà kho mênh mông, trải dài trên ¼ khoảng cách từ Trái đất đến Kim tinh, tức 10 triệu km chiều dài! Nhưng một khi cuộc gặp gỡ đó được thực hiện và có sự trao đổi một hạt X giữa hai quark, thì những hậu quả thảm khốc sẽ xảy ra đối với proton. Khi đó, hai quark sẽ biến hóa thành một phản-quark và một positron (tức phản-electron). Positron sẽ bay ra khỏi proton, trong khi phản-quark kết hợp với quark thứ ba để tạo thành một hạt mới gọi là “pion”. “Pion” vốn không bền vững và sau một phần nhỏ của giây, nó lập tức phân rã biến thành các photon. Như vậy, bản kết toán cuối cùng của cuộc gặp gỡ giữa hai quark bên trong proton và sự trao đổi hạt X giữa chúng chính là cái chết của proton, để lại sau nó một positron và các hạt photon. Điều này có nghĩa vật chất không phải là vĩnh cửu. Một ngày nào đó nó cũng sẽ chết. Nhưng chớ lo: các proton trong cơ thể bạn sẽ không đột ngột phân rã và bạn cũng không tức khắc biến thành các positron và photon đâu mà sợ. Lý thuyết thống nhất lớn chưa

được kiểm chứng qua thí nghiệm, và những cuộc gặp gỡ giữa các quark trong một proton chỉ xảy ra rất hy hữu, tới mức tuổi thọ của một proton được đánh giá đạt tới cỡ 10^{30} năm, tức là khoảng mấy trăm tỷ tỷ (10^{20}) lần tuổi của Vũ trụ.

Nếu proton có một cuộc sống dài lâu như thế, phải chăng chúng ta chẳng có một cơ may nào được chứng kiến cái chết của nó và qua đó kiểm chứng lý thuyết thống nhất lớn? Hoàn toàn không phải như vậy! Lý thuyết lượng tử nói rằng proton có thể phân rã bất cứ lúc nào. Vì proton có tuổi thọ là 10^{30} năm, nên nếu người ta tập hợp được 10^{30} proton lại với nhau trong cùng một nơi, thì người ta có thể sẽ quan sát thấy trung bình mỗi năm một hạt proton chết. Hơn thế nữa, nếu chúng ta tập hợp được 10^{33} proton vào cùng một nơi, ta có thể sẽ thấy nhiều hạt chết trong một ngày. Để làm việc đó, các nhà vật lý Mỹ đã đổ đầy 5.000 tấn nước (vì nước là một nguồn proton tuyệt hảo, nó được cấu tạo bởi 2 nguyên tử hyđrô - một nguyên tử hyđrô lại được cấu tạo bởi một proton và một electron - và một nguyên tử oxi) vào một bể rộng, mỗi chiều 20m, đặt tại một mỏ muối ở bang Ohio (để cho đất ngăn chặn các tia vũ trụ khởi phát trong khối lượng nước những phản ứng giống như cái chết của proton). Nước được dùng ở đây là cực tinh khiết và trong để cho các photon báo hiệu cái chết của proton có thể đi qua nhiều mét nước và được thu bởi các máy dò đặt trong thành bể. (Nếu nước đại dương có cùng một độ tinh khiết và trong như thế, ta đã dễ dàng chiêm ngưỡng các hệ động vật và thực vật biển ở tận chiều sâu tới 20m). Thật không may, mặc dầu đã cố gắng rất nhiều, (và cũng đã có những thí nghiệm tương tự ở Nhật Bản và Châu Âu), nhưng tới nay vẫn chưa có ai được chứng kiến cái chết của proton. Liệu proton có sống lâu hơn là người ta đã tưởng không? Liệu có phải điều chỉnh lý thuyết

thống nhất lớn không? Các nhà vật lý vẫn chưa bỏ cuộc. Những người Nhật và Italia vẫn đang ráo riết chế tạo các máy dò tìm có độ nhạy cao gấp hàng trăm lần để chí ít cũng phát hiện được một proton chết...

Lực hấp dẫn lập nhóm riêng

Nếu lực điện từ, lực yếu và lực mạnh ngoan ngoãn để cho người ta thống nhất làm một, thì lực hấp dẫn vẫn ương bướng chống lại: nó tách ra thành một nhóm riêng. Cơ học lượng tử mô tả rất tốt thế giới nội nguyên tử, nơi mà lực hấp dẫn không quan trọng lắm. Trong khi đó thuyết tương đối lại giải thích rất tốt những tính chất của lực hấp dẫn ở quy mô các hành tinh, các vì sao, các thiên hà và toàn Vũ trụ, khi các lực hạt nhân và lực điện từ không đóng vai trò nổi bật. Nhưng chưa ai biết cách thống nhất lý thuyết của cái vô cùng lớn và lý thuyết của cái vô cùng bé thành một lý thuyết duy nhất, lý thuyết "hấp dẫn lượng tử". Lý thuyết này mô tả tình hình trong đó tất cả các lực đều bình đẳng và có thể kiểm chứng được bằng thực nghiệm. Song, điều này còn chưa thực hiện được, mặc dầu các nhà vật lý đã có rất nhiều cố gắng. Bản thân Einstein vĩ đại đã dành 25 năm cuối đời mình để thử thống nhất lực hấp dẫn với lực điện từ, nhưng ông đã không thành công (do sự đối lập của ông đối với cơ học lượng tử, nên Einstein không bận tâm gì đến hai lực hạt nhân).

Đây là vấn đề về kích thước. Trong cơ học lượng tử, theo mô hình chuẩn, các lực điện từ và hạt nhân đều được truyền đi, như đã biết, bởi các hạt truyền tương tác. Đương nhiên, người ta cũng có thể nghĩ rằng đối với lực thứ tư tình hình cũng sẽ là như vậy. Cơ học lượng tử tiên đoán rằng lực hấp dẫn có một hạt truyền tin

được gọi là "graviton". Giống như photon, hạt này thuộc họ các boson, nó không có khối lượng cũng chẳng có điện tích và lang thang trong Vũ trụ với vận tốc ánh sáng. Nhưng sự giống nhau chỉ dừng lại ở đó. Graviton quay hai lần nhanh hơn photon, nên nó có spin là 2 chứ không phải 1. Trong khi photon cực kỳ thích tụ hội, khoái tương tác và chơi đùa với vật chất để truyền tới mắt chúng ta những màu sắc và vẻ đẹp của các vật trong đời sống hằng ngày, graviton lại không thích giao du, giới hạn đến mức tối thiểu sự tương tác với các hạt vật chất. Nó đi qua cơ thể của bạn và cả Trái đất như vào chỗ trống, và chỉ để lại chưa đầy 1% năng lượng của nó. Chính vì vậy mà ta rất khó có thể bắt được các sóng hấp dẫn bằng các máy dò tìm được làm bằng vật chất.

Thật không may, có một điểm yếu quan trọng trong câu chuyện tuyệt vời này: đó là hiện chưa một ai nhìn thấy graviton cả. Cho đến lúc này, nó vẫn chỉ là một thực thể thuần túy toán học và chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng của các nhà vật lý.

Hình học hóa lực điện từ

Nhưng nếu cơ học lượng tử nói rằng lực hấp dẫn được truyền đi bởi một hạt truyền tin, thì đối với thuyết tương đối rộng sự thể lại hoàn toàn khác. Thuyết này mô tả lực hấp dẫn không phải như một lực mà như một hệ quả từ hình học của không gian. Mặt trăng vẽ một quỹ đạo hình elip quanh Trái đất. Newton nói rằng sở dĩ như vậy là bởi vì Mặt trăng chịu tác dụng của lực hấp dẫn do Trái đất tác dụng lên nó. Còn Einstein thì nói khối lượng của Trái đất làm cong không gian xung quanh nó và Mặt trăng chỉ đơn giản mượn đường ngắn nhất trong không gian cong ấy để đi từ điểm này đến điểm kia. Đường đó được gọi là đường "trắc địa", nó có

dạng hình elip. Độ cong của không gian do một khối lượng tạo ra đã được kiểm chứng nhiều lần. Ví dụ ánh sáng của một ngôi sao bị lệch hướng bởi không gian cong xung quanh Mặt trời.

Như vậy, lực có nghĩa là hình học trong thuyết tương đối. Thống nhất cơ học lượng tử với thuyết tương đối để hòa nhập bốn lực với nhau thành một “siêu lực”, trong một sơ đồ mà các nhà vật lý đôi lúc gọi một cách hơi khoa trương là “Lý thuyết của vạn vật”, đòi hỏi sự dung hòa hai quan điểm mà theo tiên nghiệm không có liên quan gì với nhau: quan điểm về một lực hấp dẫn được truyền bởi các hạt truyền tin và quan điểm về một lực được sinh ra bởi chính hình học của không gian.

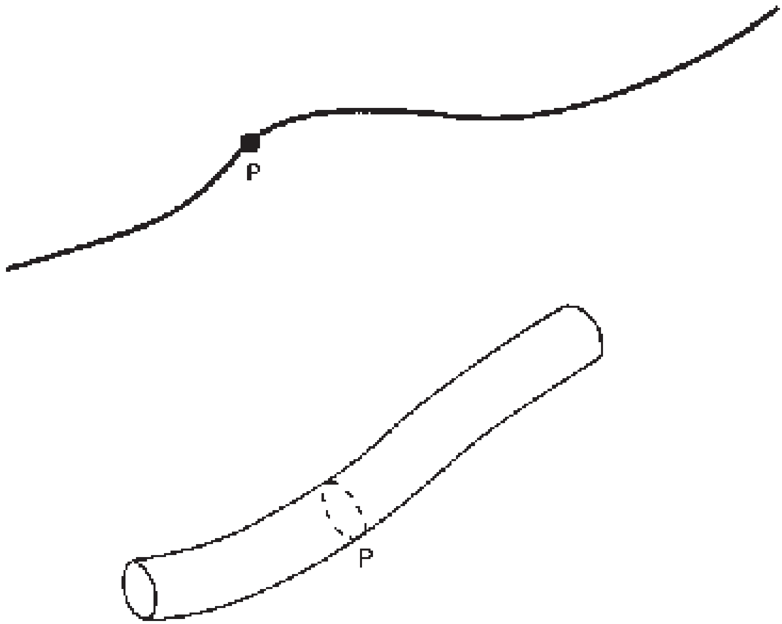
Bước đầu tiên hướng tới sự hòa giải đó đã được thực hiện vào năm 1919, đúng bốn năm sau thuyết tương đối rộng, bởi một nhà vật lý Ba Lan không mấy tiếng tăm, tên là Theodor Kaluza (1885-1954). Lúc đó mới chỉ có lực hấp dẫn và điện từ độc chiếm sân khấu. Hai lực hạt nhân còn chưa xuất hiện. Được gợi ý bởi khả năng giải thích được lực hấp dẫn của hình học trong lý thuyết của Einstein, Kaluza cũng muốn “hình học hóa” lực điện từ. Để làm điều đó, ông đã đưa ra một giải pháp kỳ quặc và bất ngờ nhất. Ông chứng minh được rằng trường điện từ cũng được sinh ra từ độ cong trong hình học của không gian. Không phải trong không gian ba chiều như chúng ta đã quen biết, mà là trong chiều thứ tư giả thuyết của không gian. Từ Einstein, chúng ta biết rằng mình sống trong một không-thời gian bốn chiều, trong đó ba chiều của không gian và một chiều của thời gian. Kaluza đã hành động thật táo bạo: ông đã mạnh dạn trao thêm một chiều phụ nữa cho không gian và như vậy tạo ra một không-thời gian năm chiều. Theo ông, lực hấp dẫn trong một không-thời gian có thêm số chiều như vậy sẽ tương đương với lực hấp dẫn thông thường trong không-thời

gian bốn chiều thông thường, nhưng - và đây mới là điều cơ bản - với một phần thưởng thêm là trường điện từ. Trong không-thời gian năm chiều này, các sóng vô tuyến thường đem đến máy thu thanh của chúng ta những bài hát mà ta yêu thích và sóng ánh sáng mang tới cho chúng ta ánh sáng ban ngày đều cùng truyền đi trong chiều thứ tư của không gian.

Những chiều ẩn giấu của không gian

Bạn có thể bác lại rằng tất cả những điều vừa nói ở trên đều rất đẹp và ý tưởng của Kaluza cũng thật thần tình, song ông ta đã phạm sai lầm, bởi vì bạn không hề cảm nhận thấy cái chiều phụ của không gian mà ông ta nói tới. Ta có thể tiến lên phía trước hoặc lùi về phía sau, lên cao hoặc xuống thấp, sang phải hoặc sang trái. Như vậy là ba chiều chứ chắc chắn không phải là bốn. Liệu chúng ta còn có thể cử động trong một chiều khác nữa không? Nếu thực sự có thêm chiều không gian thứ tư, thì chỉ có quỷ sứ mới biết nó đi đằng nào!

Năm 1926 nhà vật lý Thuỵ Điển Oskar Klein (1894-1977) mới đưa được ra câu trả lời. Ông giải thích rằng chiều thứ tư có vẻ như vắng bóng là bởi vì nó đã "cuộn lại" tới một kích thước rất nhỏ, khiến ta không thể cảm nhận được. Trường hợp này gợi ta nhớ tới một ống dẫn nước trong vườn (H. 51). Nhìn từ xa, nó trông như một đường cong ngoằn ngoèo, nhưng đến gần hóa ra nó là một ống hình trụ. Cái ta nhìn thấy từ xa như một điểm 0 chiều trên ống dẫn nước tưới, tới gần hóa ra lại là một hình tròn 1 chiều chạy quanh bề mặt ống. Cũng tương tự, Klein nói với ta rằng: cái mà chúng ta nghĩ là một điểm trong không gian ba chiều, thì sự thật lại là một đường tròn nhỏ trong không gian bốn chiều. Ta không



Hình 51. *Các chiều phụ ẩn giấu*. Những cái mà từ xa ta tưởng như một đường với một chiều, thì khi tới gần hóa ra lại là một ống hình trụ hai chiều. Mỗi một điểm trên đường đó (ví dụ, điểm P trên hình) thực tế lại là một vòng tròn bao quanh bề mặt ống. Vậy một chiều đã bị ẩn giấu là do kích thước quá nhỏ của vòng tròn. Tương tự như vậy, nhà vật lý Oskar Klein cho rằng cái mà ta tưởng là một điểm trong không gian ba chiều thực ra lại là một vòng tròn rất nhỏ trong một không gian với bốn chiều, có điều chiều thứ tư của không gian bị ẩn giấu mà thôi.

nhận thấy điều đó vì đường tròn đó vô cùng nhỏ: chu vi của nó chỉ cỡ 10^{-33}cm, tức là 100 tỷ tỷ lần nhỏ hơn kích thước của một hạt nhân nguyên tử. Vì lớn hơn rất nhiều, cho nên nguyên tử không thể luồn lách trong chiều thứ tư đó của không gian để tái xuất hiện ở một góc khác của Vũ trụ. Các tác giả truyện khoa học viễn tưởng hẳn sẽ rất thích thú các mưu mẹo này, bởi vì nó cho phép các nhân

vật của họ di chuyển từ điểm này đến điểm khác của Vũ trụ với ba chiều không gian mà không bị giới hạn bởi vận tốc ánh sáng, một vận tốc mà họ coi là chậm như rùa trong thang đo của Vũ trụ. Nhưng những chuyến du hành theo các chiều phụ của không gian hiện vẫn nằm trong lĩnh vực của khoa học viễn tưởng mà thôi. Có lẽ chúng ta nên nói rằng chiều thứ năm phụ này đã được chôn vùi ở nơi sâu kín nhất của nguyên tử.

Mặc dù được sáng tạo rất tài tình, nhưng lý thuyết Kaluza - Klein trong suốt hơn 50 năm không được các nhà vật lý coi là chuyện nghiêm túc. Đối với họ, đó chỉ đơn giản là một trò chơi toán học không có quan hệ gì với thực tại cả. Với việc khám phá ra các lực hạt nhân mạnh và yếu trong những năm 1930, thì một lý thuyết chỉ thống nhất được lực hấp dẫn với lực điện từ mà không tính đến hai lực khác vẫn chưa thể coi là đúng đắn được. Nhưng trong những năm 1980, với lý thuyết thống nhất lớn của các lực hạt nhân và lực điện từ, và giấc mộng thống nhất cả lực hấp dẫn trong một "lý thuyết của vạn vật", thì ý tưởng "hình học hóa" tất cả các lực lại trở thành vấn đề thời sự và lý thuyết của Kaluza - Klein đã được làm sống lại, trở thành hợp thời.

Một vũ trụ 11 chiều

Hình học hóa tất cả các lực khác có cái giá của nó. Trong khi chỉ cần một chiều không gian phụ để thực hiện trò ảo thuật với lực điện từ, thì các lực hạt nhân mạnh và yếu, mỗi lực đòi hỏi thêm nhiều chiều phụ nữa. Thực tế, để hình học cả ba lực, cần có thêm 7 chiều không gian phụ, tức là tổng cộng có 10 chiều không gian. Thêm chiều thời gian vào nữa, ta sẽ có một không-thời gian 11 chiều. Lại cần phải giấu kín 7 chiều không gian phụ để chúng

không lồ lộ trước mắt trong cuộc sống hằng ngày của chúng ta. Và cũng phải một lần nữa đặt giả thuyết rằng chúng tự cuộn tròn lại. Nhưng nếu như chỉ có một cách duy nhất để cuộn một chiều thành hình tròn vô cùng nhỏ, thì lại có rất nhiều cách khi có nhiều chiều như thế. Chẳng hạn, một mặt hai chiều có thể cuộn tròn thành một hình cầu hoặc một hình xuyến, hai đối tượng hình học có tôpô hoàn toàn khác nhau. Các tôpô sẽ còn nhiều hơn và đa dạng hơn nữa khi ta cuộn tròn những 7 chiều. Một cách đơn giản nhất để làm việc này là dựng một hình cầu mà bề mặt của nó không phải là hai chiều như chúng ta từng biết, mà là 7 chiều. Quả cầu này đã từng là đối tượng nghiên cứu của các nhà toán học cách đây nửa thế kỷ. Nó có những thuộc tính hình học và đối xứng độc đáo, mà một hình cầu thông thường không có.

Như vậy, nếu Vũ trụ có 11 chiều, trong đó 7 được giấu kín trong mặt cầu 7 chiều, thì có khả năng thống nhất được lực hấp dẫn với ba lực khác để tạo thành một siêu lực. Trong Vũ trụ này, tất cả các lực của Tự nhiên chỉ là sự thể hiện của hình học và cấu trúc của không-thời gian. Lực hấp dẫn là do sự cong của không gian 3 chiều thông thường gây ra, trong khi các lực khác là do sự cong của không gian trong 7 chiều phụ gây ra. Theo quan điểm đó thì các lực, nguồn của mọi biến đổi hoặc tiến hóa trong Vũ trụ, sẽ chỉ còn là kết quả của các dạng hình học được nhào nặn trên một mặt trải rộng bao la.

Vậy nếu như 7 chiều phụ ẩn giấu không hiện ra trước mắt chúng ta trong cuộc sống hàng ngày, thì liệu có một chút cơ may nào phát hiện ra chúng nhờ công nghệ hay không? Chúng ta biết rằng năng lượng mà ta dùng để bắn phá vật chất càng lớn thì ta càng nhìn thấy những thứ nhỏ hơn. Vậy thì liệu có lúc nào đó

chúng ta nhìn thấy được các chiều ẩn giấu không? Câu trả lời dứt khoát là không. Lý thuyết tiên đoán rằng các chiều phụ phải được cuộn tròn lại thành một mặt cầu 7 chiều có bán kính chỉ bằng một phần triệu tỷ tỷ tỷ (10^{-33}) xentimét. Kích thước vô cùng bé này được gọi là "chiều dài Planck", tên của nhà vật lý người Đức mà chúng ta đã quen biết, và là người đầu tiên phát hiện ra bản chất lượng tử của ánh sáng. Ông đã tính toán chiều kích cần phải đi xuống, để cho lực hấp dẫn, vốn rất yếu và không đáng kể, được ngang bằng với các lực khác (lực hấp dẫn là lực yếu nhất trong số 4 lực: nếu lực mạnh có cường độ là 1, thì lực điện từ bằng 10^{-2}, lực yếu bằng 10^{-5} và lực hấp dẫn chỉ bằng 10^{-39}). Và ông đã nhận được một con số nhỏ không thể tưởng tượng nổi, đó là 10^{-33}cm, một kích thước 1000 lần nhỏ hơn thang "thống nhất lớn" của ba lực hạt nhân mạnh, yếu và điện từ. Để nhìn thấy những kích thước nhỏ như vậy cần phải có một năng lượng lớn gấp 10 tỷ tỷ lần năng lượng tương ứng với khối lượng proton, tức 100.000 lần lớn hơn năng lượng cần thiết để thấy được "sự thống nhất lớn". Chúng ta đều đã biết rằng để kiểm chứng sự thống nhất lớn này cần phải có ít ra là một cuộc cách mạng công nghệ, có khả năng chế tạo được một máy gia tốc lớn và trải dài đến tận ngôi sao gần nhất. Thăm dò các chiều phụ cuộn tròn trong mặt cầu 7 chiều còn khó có khả năng hơn: cần phải có một máy gia tốc lớn bằng cả dải Ngân Hà, có chiều dài 100.000 năm ánh sáng! Đó là điều không thể thực hiện được.

Tuy nhiên, các nhà vật lý không bao giờ cạn trí tưởng tượng, họ đã tìm ra một lý thuyết để thống nhất lực hấp dẫn với ba lực còn lại, nhưng hiện tại cũng chưa có một phương tiện nào có thể kiểm chứng được nó bằng thực nghiệm.

Đối xứng trở thành siêu

Không gian chứa những chiều phụ, nếu như các lực là những biểu hiện của hình học. Nhưng một điều kỳ lạ là nếu bạn yêu thích các hạt hơn, và chấp nhận quan điểm theo đó các lực sinh ra không phải từ hình học của không gian mà là từ sự chuyển động qua lại không ngừng của các hạt truyền tương tác, thì bạn cũng vẫn phải thêm vào không gian các chiều phụ. Nhận xét này được rút ra từ một lý thuyết nhằm thống nhất các lực không phải theo cách trực tiếp, mà lần này là thống nhất chính bản thân nội dung của Vũ trụ: vật chất và ánh sáng.

Vật chất thông thường được tạo bởi các quark và electron. Tất cả các hạt này đều thuộc họ fermion, tức là của các hạt có spin = ½. Trái lại, hạt ánh sáng (photon) là một boson, tức là hạt có spin = 1. Trong mô hình chuẩn, boson và fermion là các hạt hoàn toàn khác nhau, nhất là khi có liên quan đến hành vi tập thể của chúng. Các fermion là những hạt thích sống biệt lập. Nó không chịu được sự chen chúc với các fermion khác. Thái độ phi tập thể này là một bản tính nội tại chứ không liên quan gì đến lực đẩy ra do điện tích tạo ra. Các electron thích biệt lập, các nơtron và nơtrinô cũng như thế, nhưng chúng không mang một điện tích nào. Bạn có thể nhồi nhét các fermion vào một thể tích cho trước đến một số lượng nào đó, nhưng quá con số ấy, chúng sẽ phản kháng lại. Sự xua đuổi các hạt khác cùng loại, sự chống lại của fermion đối với việc xếp chặt chúng với nhau chính là nền tảng của "nguyên lý loại trừ" do nhà vật lý Áo Wolfgang Pauli (người đã tiên đoán sự tồn tại của hạt nơtrinô) phát minh ra. Nguyên lý này nói rằng hai electron không thể chia sẻ với nhau cùng một trạng thái lượng tử. Nó cho phép ta hiểu được tại sao các electron trong một nguyên tử lại không chất

đống hạt nọ chồng lên hạt kia trên quỹ đạo gần hạt nhân nhất và cũng là quỹ đạo có năng lượng nhỏ nhất. Thực tế, các electron xếp đầy các quỹ đạo quanh hạt nhân một cách có kỷ luật, theo một nguyên tắc rất chính xác do "nguyên lý loại trừ" của Pauli quy định. Quy tắc đó là: nếu n là số lượng tử đặc trưng cho một quỹ đạo, thì số tối đa các electron có thể xếp ở đó là $2n^2$. Chẳng hạn quỹ đạo gần hạt nhân nhất có số lượng tử là 1 và nó có thể tiếp nhận tối đa là 2 electron. Quỹ đạo tiếp theo có số lượng tử bằng 2, có thể chứa 8 electron, quỹ đạo thứ ba - 18 electron, và cứ tiếp tục như thế. Nếu không có trật tự và kỷ cương như thế của các electron, bảng tuần hoàn các nguyên tố sẽ không tồn tại, hóa học sẽ không thể có và toàn bộ vẻ đẹp cũng như tính phức tạp của thế giới cũng sẽ biến mất. Nếu không có "nguyên lý loại trừ" Pauli, tất cả các ngôi sao đều kết thúc cuộc đời của chúng thành các lỗ đen. Chúng ta cũng chẳng còn niềm vui được biết tới những "sao lùn trắng" (kết cục của Mặt trời khi đã cạn kiệt chất đốt hạt nhân) cũng như các sao nơtron. Thực vậy, như chúng ta đã biết, "sao lùn trắng" và các sao nơtron chỉ có thể tồn tại bởi vì các electron trong "sao lùn trắng" và các nơtron trong các sao nơtron không chịu bị lèn chặt, và chúng cưỡng lại sức ép của lực hấp dẫn.

Trái lại, các boson lại thích tụ hội hơn. Chúng không phản đối khi phải chia sẻ chỗ nằm cho các hạt đồng loại và còn cảm thấy vui thú khi được lèn sát với nhau. Hoàn toàn không chấp nhận nguyên tắc loại trừ, các boson làm việc với tinh thần đồng đội, chúng tương trợ lẫn nhau chứ không thọc gậy bánh xe như các fermion. Chính vì vậy mà chúng có thể hợp lực lại để tạo ra các hiệu ứng vĩ mô mà giác quan chúng ta có thể cảm nhận được, cho dù kích thước của chúng nhỏ hơn nguyên tử. Ví dụ, những đạo quân photon có thể phối hợp hoạt động cùng nhau để tạo thành

các sóng vô tuyến lan truyền trong không gian với vận tốc ánh sáng, để đem đến tận phòng khách nhà bạn một chương trình TV mà bạn yêu thích. Như ta đã biết, các electron cũng có những sóng gắn kết chúng, song chúng ta không bao giờ nhìn thấy được một sóng electron lan truyền trong không gian, trong cuộc sống hằng ngày, bởi vì các electron từ chối không chịu hợp tác với nhau.

Để thống nhất vật chất và ánh sáng, ta cần phải kết hợp được các fermion với các boson. Cần phải tìm ra một nguyên lý đối xứng để liên kết chúng, để biến một fermion thành boson và ngược lại. Vào cái thời mà người ta không hề sợ sự ngoa ngôn, đối xứng này đã được các nhà phát minh gọi là "siêu đối xứng", khiến cho họ nhân dịp này cũng được gọi là các nhà "siêu vật lý". Thật không may, bước đi đầu tiên trong việc liên kết các fermion và boson quen biết đã thất bại. Các nhà "siêu vật lý" buộc phải nhân đôi số hạt hiện có nhằm liên kết các fermion đã biết với các boson được sáng chế ra, và liên kết các boson đã biết với các fermion đang còn chờ được phát hiện. Theo siêu đối xứng ("supersymetry", viết tắt là SUSY) mỗi boson đã biết được liên kết với một "siêu hạt bạn" fermion, và mỗi fermion đã biết với một "siêu hạt bạn" boson. "Siêu hạt bạn" giống hệt như hạt gốc về mọi phương diện (cùng khối lượng, cùng điện tích, cùng màu, v.v.), trừ spin phải khác nhau một giá trị bằng ½. Chẳng hạn "siêu hạt bạn" của photon (spin = 1) có spin = ½ và "siêu hạt bạn" của electron (spin = ½) có spin = 0.

Sự sinh sôi nảy nở của các siêu hạt

Sự sinh ra bất ngờ và mới chỉ là giả thuyết (vào lúc này) của nhiều hạt là một thử thách cam go đối với trí tưởng tượng của các nhà vật lý để đặt tên cho chúng. Hệ thống thuật ngữ được đưa ra,

và cuối cùng đã được chấp nhận, cũng chưa phải là tao nhã cho lắm. Để gìn giữ hệ thuật ngữ quen thuộc nhưng cũng khá lạ lùng của các hạt thông thường, và để dễ nhớ hạt nào kết đôi với hạt nào, các "siêu hạt bạn" của fermion chỉ đơn giản được thêm vào tiền tố *s* (chữ cái đầu của từ siêu đối xứng) vào cái tên thường dùng của hạt gốc. Điều này dẫn đến những cái tên quái đản như selectron, smuon, stau, slepton, squark, stop... Các "siêu hạt bạn" của boson đã được đặt cho những cái tên nghe dịu tai hơn. Để gọi tên, chỉ cần đơn giản thêm vào một hậu tố *ino* (có nghĩa là nhỏ hơn theo tiếng Italia) cho tên gốc thông thường, mặc dù các hạt được nói tới không phải là nhỏ và nhẹ hơn, như hậu tố của nó gợi ý. Chẳng hạn photon có siêu hạt bạn là photino, graviton là gravitino,... Nhưng rồi dần dần cách đặt tên đó cũng đã đưa lại những cái tên kỳ quặc và xấu xí. Chẳng hạn các hạt W, Z và gluon có các "siêu hạt bạn" với những cái tên là Winos, Zinos và gluinos! Đặc biệt là cái tên Winos chẳng mấy thích hợp, vì Wino theo tiếng Anh lóng có nghĩa là gã say rượu.

Các nhà vật lý đã đem hết tâm huyết vào việc tìm kiếm các siêu hạt trong những máy gia tốc của họ. Nhưng cho tới nay họ vẫn chưa phát hiện thấy hạt nào. Chúng hoàn toàn biệt vô âm tín. Nếu một "siêu hạt bạn" có cùng khối lượng như electron là có thật, thì nó sẽ liên kết với các hạt nhân để tạo ra các nguyên tử và lẽ ra chúng ta đã quan sát thấy chúng. Nếu không có một máy móc nào nhìn thấy các siêu hạt thì điều đó có nghĩa ý tưởng về "siêu đối xứng" là sai, hoặc các máy gia tốc hiện có chưa đạt tới năng lượng cần thiết để sản sinh ra chúng. Trong trường hợp thứ hai, các siêu hạt phải nặng hơn các hạt thông thường. Điều đó hàm ý rằng đối xứng khối lượng bị phá vỡ, nghĩa là nó không còn hoàn hảo nữa. Một vài nhà siêu vật lý đưa ra ý tưởng cho rằng các siêu hạt nặng

có lẽ chính là các hạt đã tạo nên khối lượng không nhìn thấy hay cũng là vật chất tối của Vũ trụ.

Chẳng phải đợi lâu, các nhà "siêu vật lý" đã chuyển sự chú ý của họ vào lực hấp dẫn. Xét cho cùng thì "siêu đối xứng" lại cũng có dáng vẻ hình học. Hai thao tác "siêu đối xứng" kế tiếp hóa ra lại đưa đến một kết quả tương đương với kết quả của một thao tác hình học, tức là thao tác di chuyển trong không gian. Và thế là lý thuyết "siêu hấp dẫn" đã ra đời. Trong lý thuyết đó, lực hấp dẫn không còn duy nhất được truyền chỉ bởi hạt graviton spin 2, mà còn được truyền bởi tất cả các hạt cùng họ "siêu đối xứng" có tên là "gravitinos", mỗi hạt có một spin ³⁄₂. Trong thế giới đời thường chúng ta không bao giờ có thể cách ly hiệu ứng của graviton với hiệu ứng của gravitinos. Tất cả những gì chúng ta cảm thấy là hiệu ứng tổ hợp của chúng. Chính tác động phối hợp của chúng đã làm chúng ta ngã khi vấp phải vật gì. Sự mô tả toán học tiết kiệm nhất của siêu hấp dẫn hóa ra cũng đòi hỏi những chiều phụ của không gian. Một lần nữa chúng ta lại trở về với một không-thời gian 11 chiều.

Như vậy là dù ta có lấy điểm xuất phát là thuyết tương đối rộng, trong đó mọi lực đều chỉ là biểu hiện của hình học, hay lấy điểm xuất phát là cơ học lượng tử, trong đó lực được vận chuyển bởi các hạt truyền tin, thì chúng ta cũng đều đi tới cùng một đích, đó là Vũ trụ 11 chiều mà 7 chiều trong số đó đều được cuộn nhỏ lại, nhỏ đến mức ta không còn nhìn thấy chúng nữa. Đây là sự trùng hợp giản đơn hay là một chân lý sâu sắc của Tự nhiên? Chỉ có tương lai mới trả lời được cho chúng ta.

Dù thế nào đi nữa, hiện vẫn chưa phát hiện được một hạt "siêu đối xứng" nào đã được lý thuyết tiên đoán, kể cả gravitinos. Chúng vẫn chỉ là sản phẩm thuần túy của trí tưởng tượng vô bờ bến của

các nhà vật lý. Những hy vọng phát hiện ra chúng còn rất xa vời. Máy va chạm LHC (*Large Hadron Collider*) đặt tại CERN có thể sẽ đạt tới năng lượng lớn gấp 7 lần năng lượng của máy gia tốc mạnh nhất hiện nay là Fermilab ở bang Illinois gần Chicago, có năng lượng mạnh gấp 7000 lần năng lượng tương ứng với khối lượng của proton. Theo lý thuyết, năng lượng này sẽ đủ để sản xuất ra các hạt "siêu đối xứng". Song chừng nào mà điều đó còn chưa thực hiện được thì siêu đối xứng vẫn chỉ là một lý thuyết đang tìm kiếm một thực tại để mô tả.

Bản giao hưởng của các siêu dây

Một trong những trở ngại quan trọng nhất trên con đường dẫn đến sự thống nhất và làm cho nó trở nên khó khăn hơn là vấn đề phân kỳ, nghĩa là có những đại lượng vô hạn không ngừng xuất hiện trong lý thuyết. Đây là dấu hiệu chỉ ra rằng lý thuyết không phù hợp với Tự nhiên, bởi vì Tự nhiên rất ghét cái vô hạn. Chẳng hạn chúng ta đã thấy rằng các hạt truyền tương tác càng ở gần hạt vật chất đã sinh ra chúng, thì năng lượng của chúng càng tăng. Sự gia tăng này không có hạn chế và có thể trở thành vô hạn, bởi vì không có gì ngăn cản hạt truyền tương tác hòa nhập hoàn toàn với các hạt vật chất. Trong mô hình chuẩn, các hạt này chỉ là những điểm toán học, hoàn toàn không có kích thước. Để thử chạy chữa cho căn bệnh phân kỳ này, có một ý tưởng là ban cho các hạt vật chất một kích thước. Nếu kích thước này nhỏ hơn rất nhiều khả năng cảm nhận của các dụng cụ đo, chúng ta sẽ không ý thức được một kích cỡ như vậy. Chính lý thuyết có tên là "lý thuyết dây" đã ra đời như thế.

Thay vì là những điểm toán học giản đơn không chiều, các hạt vật chất trở thành các dây vô cùng mảnh, chỉ có một chiều, gần

giống như một sợi mì cực mảnh. Trước đây, người ta cũng từng thử biểu diễn các hạt vật chất như những viên bi nhỏ li ti, song cách tiếp cận đó đã bị bác bỏ vì nó mâu thuẫn với thuyết tương đối rộng. Những tính toán đầu tiên sử dụng khái niệm dây đã không mang lại kết quả đáng khích lệ cho lắm. Chúng tạo ra những hạt chuyển động nhanh hơn ánh sáng, một điều mà thuyết tương đối không cho phép. Thất vọng, người ta bèn cầu viện đến "siêu đối xứng". Và các dây bây giờ trở thành "siêu dây". Các siêu dây có vận tốc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng và lý thuyết dây được cứu sống. "Siêu đối xứng" cũng đưa vào một vị khách lạ không được chờ đợi: đó là một hạt không có khối lượng, chuyển động với vận tốc ánh sáng và có spin 2. Chắc hẳn bạn đã nhận ra: đó chính là graviton, hạt truyền tin giả thuyết của lực hấp dẫn. Như vậy là mặc dù hoàn toàn không chủ ý, bởi vì động cơ ban đầu chỉ là muốn thoát khỏi các phân kỳ, nhưng các nhà vật lý đã đưa được lực hấp dẫn vào lý thuyết dây. Vốn rất ương bướng và ngang ngạnh, nhưng rồi cuối cùng lực hấp dẫn cũng đã tự quyết định phải nhập hội với các lực khác mà không cần mời mọc. Nó kín đáo đi vào lý thuyết và các nhà vật lý tỏ ra rất hài lòng. Lý thuyết siêu dây dường như hứa hẹn có thể cuối cùng sẽ thống nhất được bốn lực của Tự nhiên, một sự thống nhất đã được mong đợi bấy lâu.

Lý thuyết này cho ta biết rằng các siêu dây có chiều dài vô cùng nhỏ, chỉ cỡ 10^{-33}cm và đây không gì khác chính là chiều dài Plank, tại đó lực hấp dẫn hoàn toàn bình đẳng với các lực khác. Các hạt vật chất và hạt ánh sáng, những hạt truyền đi các lực liên kết thế giới với nhau và làm cho thế giới thay đổi, đều chỉ là những biểu hiện các dao động của siêu dây. Hoàn toàn giống như dao động của các dây đàn ghita hay vĩ cầm sinh ra những âm thanh đa dạng kèm theo các họa ba (tức những âm thanh có tần số là bội số của

tần số âm cơ bản), tạo nên âm sắc riêng của chúng, đem lại cho ta niềm hạnh phúc được thưởng thức cái hay cái đẹp của âm nhạc, các siêu dây cũng là nguồn gốc của các âm thanh cùng với các họa ba được biểu hiện trong Tự nhiên và trong các dụng cụ đo lường của chúng ta như là các proton, nơtron, electron, photon v.v... Thực tế, toán học được phát triển ở thế kỷ XIX để mô tả dao động của các dây đàn đã giải thích rất tốt dao động của các siêu dây. Năng lượng của mỗi kiểu dao động bây giờ tương ứng với một hạt có khối lượng bằng năng lượng đó chia cho bình phương của vận tốc ánh sáng, theo công thức của Einstein. Chẳng hạn proton không gì khác chính là bộ ba siêu dây dao động, mỗi dây tương ứng với một quark. Giống như bộ ba viôlôngxen làm cho ta đê mê khi chơi một khúc nhạc của Mozart, những dao động phối hợp của ba siêu dây sản sinh ra âm nhạc của proton được thể hiện bằng một khối lượng, một điện tích dương và một spin bằng ½, khi âm nhạc đó được thu bởi các máy dò (detector) khoa học của chúng ta. Nguyên tử là sự kết hợp của proton, nơtron và electron, và để tạo ra âm nhạc của mình, nó có nhiều nhạc công hơn trong dàn nhạc của nó. Các nhạc công này còn đông hơn nữa và những âm thanh còn mạnh mẽ và hùng tráng hơn nữa khi nói về các phân tử, được cấu tạo bởi nhiều nguyên tử. Ngay xung quanh chúng ta đây, các siêu dây cũng đang ca hát và dao động, và thế giới chỉ còn là một bản giao hưởng vĩ đại. Lần tới, khi ngồi nghe một bản nhạc của Beethoven, chắc bạn sẽ tự nhủ rằng xen lẫn giữa âm thanh của các cây đàn vĩ cầm, của những chiếc kèn trompet cùng với trống phách đang hòa âm để tạo ra âm nhạc tuyệt vời đưa chúng ta tới cõi phiêu diêu, có thể (*có thể* thôi, vì lý thuyết siêu dây còn chưa được kiểm chứng bằng thực nghiệm) là cả những dao động của toàn bộ vật chất xung quanh ta nữa.

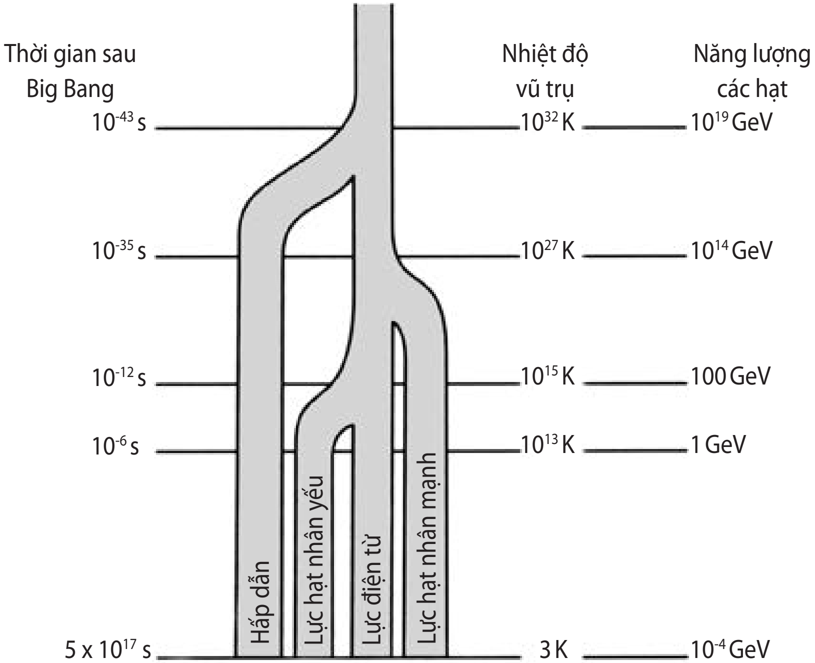
Những vòng siêu dây

Cùng một và chỉ một siêu dây thôi cũng có thể xuất hiện dưới nhiều diện mạo, khi nó dao động với các tần số khác nhau. Khi dao động theo một cách nào đó, nó có thể xuất hiện như một graviton. Chỉ cần thay đổi cách thức dao động một chút là nó sẽ xuất hiện như một photon. Các siêu dây không sống một cuộc sống lặng lẽ và biệt lập. Chúng luôn luôn cử động, tương tác, kết nối hoặc tự chia tách ra. Hành trạng của chúng trong quần thể là rất phức tạp, và nhờ những tính toán dài lê thê, các nhà vật lý mới chỉ bắt đầu hiểu được "xã hội học" của chúng. Toán học dùng để mô tả hành trạng này cũng cực kỳ phức tạp, và, lần đầu tiên trong lịch sử vật lý, nó lại không được khai phá trước bởi các nhà toán học. Để có những tiến bộ nhanh hơn, hy vọng rằng những kỹ thuật toán học sẽ phải được hoàn thiện, hoặc chúng ta phải tìm một cách khác để tiếp cận lý thuyết. Và lý thuyết này xét về mặt khái niệm và kỹ thuật sẽ phải đơn giản hơn.

Sức căng của các siêu dây đóng một vai trò chủ yếu trong hành trạng của chúng. Ở năng lượng thấp, như trong Vũ trụ hiện nay, sức căng đó khá lớn, nó kéo hai đầu mút của dây và làm cho chúng tiến lại gần nhau, đến mức siêu dây trở thành một điểm. Đó là lý do khiến cho vật lý học trước đây vốn coi các hạt là điểm đã mô tả rất tốt các hiện tượng ở năng lượng thấp. Nhưng ở năng lượng rất cao, như ở trong Big Bang hoặc trong máy gia tốc, sức căng này được nới lỏng, các hạt lại trở thành siêu dây và hành trạng của chúng thay đổi. Hai đầu mút của siêu dây có thể tự do hoặc được nối với nhau để tạo thành một vòng duy nhất. Vòng dây khép kín này xem ra có thể giải thích tốt nhất các thuộc tính của Tự nhiên, nhất là những nguyên lý đối xứng mà các nhà vật lý đã phát hiện ra trong thế giới dưới nguyên tử.

Vì "siêu đối xứng" và "siêu hấp dẫn" đều đặt ra giả thuyết về sự tồn tại của một số lớn các hạt nặng vô hình, nên một số nhà vật lý đã đưa ra ý tưởng cho rằng phải có một thế giới trong bóng tối chứa đầy các hạt tựa như các hạt của chúng ta (quark, electron, nơtrinô v.v...), song chúng chỉ tương tác với thế giới của chúng ta thông qua lực hấp dẫn. Khi đó có thể xảy ra chuyện một người nào đó được làm bằng loại "vật chất trong bóng tối" này có thể đi xuyên qua cơ thể của bạn mà bạn không cảm thấy gì. Sở dĩ như vậy là vì lực hấp dẫn do cơ thể bạn tác dụng cực kỳ yếu. Nhưng nếu lực hấp dẫn này tăng lên thì tác dụng của nó có thể sẽ cảm nhận được. Ví dụ nếu một "hành tinh trong bóng tối" từ xa đến đi xuyên qua Hệ Mặt trời, lực hấp dẫn của nó có thể làm cho Trái đất thân yêu của chúng ta văng ra khỏi quỹ đạo. Tuy nhiên, hiện thời, tất cả những ý tưởng đó đều không dựa trên bất kỳ một bằng chứng thực nghiệm nào, và các hành tinh, lỗ đen, thiên hà của "thế giới bóng tối" vẫn chỉ nằm trong lĩnh vực tư biện thuần túy mà thôi.

Vì lực hấp dẫn đi vào lý thuyết siêu dây thông qua "siêu đối xứng", nên không có gì ngạc nhiên khi thấy rằng các chiều phụ của không gian cũng bộc lộ ra. Theo một phiên bản của lý thuyết thì các siêu dây tồn tại trong một Vũ trụ có 9 chiều không gian, kết quả là ta có một không-thời gian 10 chiều. Theo một phiên bản khác, Vũ trụ có tới 25 chiều không gian và kết quả là ta có một không-thời gian 26 chiều. Lại một lần nữa phải đặt giả thuyết rằng 6 hoặc 22 chiều phụ đó đều bị cuộn tròn lại cho đến khi chúng đạt tới kích thước vô cùng nhỏ (cỡ 10^{-33}cm) mà ta không thể cảm nhận được. Các nhà vật lý còn đưa ra giả thuyết rằng khi xảy ra Big Bang, tất cả các chiều đều hoàn toàn bình đẳng với nhau và các hạt trong món súp nguyên thủy đều cảm nhận được tất cả các chiều ấy. Nhưng khi đồng hồ điểm 10^{-35} giây, Vũ trụ đi vào một



Hình 52. Sự thống nhất của bốn lực trong Tự nhiên. *Cường độ của bốn lực chi phối Tự nhiên (đó là lực hấp dẫn, lực hạt nhân mạnh và yếu, lực điện từ) là rất khác nhau trong Vũ trụ ngày hôm nay. Nhưng cường độ đó phụ thuộc vào nhiệt độ của Vũ trụ. Các nhà vật lý cho rằng bốn lực trên đã từng có cùng một cường độ và do đó đã từng được thống nhất thành một lực duy nhất trong quá khứ, khi mà Vũ trụ vừa ra đời và mới chỉ 10^{-43} giây tuổi, đồng thời có một nhiệt độ cao không thể tưởng tượng nổi là 10^{32} độ K. Sự thống nhất của lực điện từ và lực hạt nhân yếu thành lực điện-yếu được thực hiện ở nhiệt độ 10^{15} độ K, tức là ở 10^{-12} giây sau Big Bang và đã được kiểm chứng bởi thực nghiệm. Theo lý thuyết thống nhất lớn, lực điện-yếu sẽ được hợp nhất với lực hạt nhân mạnh thành lực điện-hạt nhân ở 10^{-35} giây sau Big Bang, khi mà Vũ trụ có nhiệt độ tới 10^{27} K. Còn về lực hấp dẫn, hiện nay nó vẫn cưỡng lại ý đồ thống nhất của các nhà vật lý. Hiện nay họ vẫn chưa xây dựng thành công một lý thuyết lượng tử của hấp dẫn, lý thuyết mô tả được sự thống nhất của lực hấp dẫn với lực điện-hạt nhân. Một lý thuyết đang đi theo hướng đó là lý thuyết các siêu dây. Theo lý thuyết này thì các hạt sơ cấp là dao động của các dây vô cùng bé trong một không-thời gian 10 chiều.*

pha giãn nở chớp nhoáng được gọi là “pha lạm phát”, trong đó ba chiều không gian nở ra theo luật hàm mũ, trong khi các chiều khác vẫn giữ nguyên kích thước vô cùng nhỏ của chúng. Các chiều này không còn nhìn thấy được nữa và chúng chỉ thể hiện cho chúng ta thấy thông qua những thuộc tính của các hạt và lực mà thôi. Các lực này đều có nguồn gốc hình học, mặc dù hiện nay hấp dẫn là lực duy nhất trong Vũ trụ gắn liền với hình học của không-thời gian, theo một cách có thể cảm nhận được.

Lý thuyết siêu dây đã tỏ ra có nhiều ưu điểm quan trọng. Bằng cách gán một kích thước khác 0 cho các hạt, lý thuyết này đã tránh được vấn đề phân kỳ, tức là tránh được sự xuất hiện của các đại lượng vô hạn. Với sự chấp nhận lực hấp dẫn trong lòng của mình, lý thuyết này đã đưa chúng ta tiến gần tới mục tiêu biết bao mong đợi, đó là một mô tả thống nhất về Tự nhiên (H. 52).

Tiến tới sự thống nhất

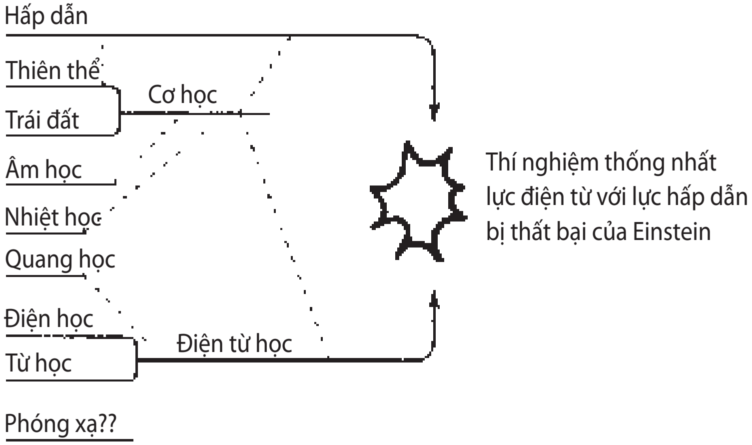
Thế là chúng ta đã kết thúc một chuyến chu du dài trong lòng vật chất. Chuyến đi này được đánh dấu bằng những bước tiến không ngừng tới sự thống nhất (H. 53). Vật lý càng tiến bộ thì nó càng phát hiện ra nhiều mối liên hệ giữa các hiện tượng mà ta đã tưởng như chúng hoàn toàn tách biệt nhau. Sự mô tả Tự nhiên một cách thống nhất, mà người ta gọi một cách hơi khoa trương là “Lý thuyết của vạn vật” đã trở thành cuộc tìm kiếm cái Chén Thánh của các nhà vật lý hiện đại. Trong cuộc tìm kiếm sự thống nhất này, đối xứng luôn luôn can thiệp để dẫn dắt những bước đi còn rụt rè của họ. Đối xứng càng ngày càng trở nên quan trọng, nhưng đồng thời cũng ngày càng trừu tượng hơn. Từ những đối xứng đơn giản như đối xứng phải-trái hay đối xứng quay, người ta đã đi tới “đối xứng vật chất-ánh sáng”.

Con đường đi tới sự thống nhất đã mở đầu với Isaac Newton vào thế kỷ XVII. Ông đã thống nhất cơ học Trái đất và cơ học thiên thể. Âm học tiếp đó cũng được hợp nhất vào "cộng đồng" cơ học. Sau đó, vào thế kỷ XIX, khi người ta khám phá ra rằng nhiệt là do chuyển động hỗn loạn của các phân tử cấu tạo nên các vật, nhiệt học cũng được gộp vào cơ học. Sở dĩ bạn vã mồ hôi vào mùa hè là bởi vì nhiệt độ cao làm cho các phân tử không khí chuyển động rất nhanh và đập vào cơ thể bạn với năng lượng lớn. Trái lại, bạn cảm thấy lạnh cóng vào mùa đông, bởi vì nhiệt độ thấp làm cho các phân tử chuyển động uể oải, chúng va chạm vào cơ thể bạn với năng lượng nhỏ. Một bước nữa tiến tới sự thống nhất là khi người ta phát hiện ra rằng tương tác cơ học giữa các vật, ví dụ như lực ma sát (chính lực này đã làm cho phanh xe đạp của bạn nóng lên khi nó cọ xát vào vành bánh xe), có thể được giải thích là do tương tác điện từ giữa các nguyên tử và phân tử của các vật đó.

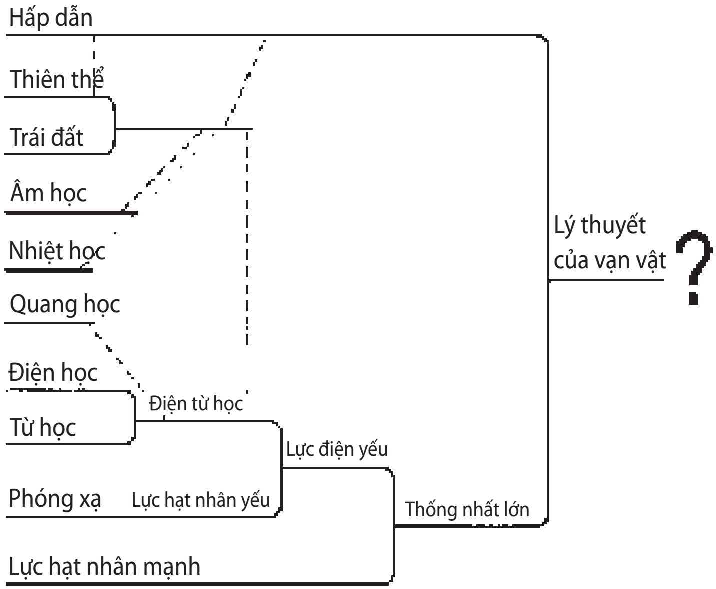
Chính bản thân điện từ học cũng đã có những tiến bộ đáng kể, tiến tới sự thống nhất. Vào thế kỷ XIX, James Maxwell đã thống nhất được điện, từ và quang học. Vào cuối thế kỷ XIX, tất cả chuyển động của các hạt đều có thể hiểu được thông qua lực hấp dẫn và lực điện từ. Trong chừng mực mà khoa học không nghiên cứu những chuyển động gì khác hơn là cơ học, người ta có thể nói rằng toàn bộ vật lý đã được thống nhất thành hai tương tác: hấp dẫn và điện từ. Sự phân chia vật lý từ thuở xa xưa thành nhiều lĩnh vực như cơ học, nhiệt học, quang học, âm học, điện, từ học và hấp dẫn mà ta vẫn thấy trong các sách giáo khoa cũ, nay không còn chỗ đứng và đã bị rơi vào quên lãng.

Những tiến bộ theo hướng thống nhất hết sức ngoạn mục. Tuy nhiên, cái đích cuối cùng vẫn còn xa lắc và đường đi còn đầy trở ngại. Trong nửa đầu thế kỷ XX, Einstein đã có ý định thống nhất

a. Cuối thế kỷ XIX



b. Cuối thế kỷ XX



Hình 53. *Sự thống nhất của Tự nhiên*. Theo sự tiến triển của mình, vật lý học đã phát hiện ra nhiều mối liên hệ bất ngờ và hoàn toàn không được chờ đợi. Chẳng hạn vào cuối thế kỷ XIX (sơ đồ a) toàn bộ vật lý được thống nhất dưới ngọn cờ của hai lực: hấp dẫn và điện từ. Phóng xạ vừa mới được phát hiện ra và còn chưa được kết nạp vào đó. Trong những năm cuối của đời mình, Einstein đã định thống nhất hai lực đó, nhưng đã thất bại. Nguyên nhân thì có nhiều! Lúc đó hai lực hạt nhân mạnh và yếu còn chưa được biết tới. Tới cuối thế kỷ XX (sơ đồ b), có bốn lực cơ bản chi phối thế giới: ngoài các lực hấp dẫn và điện từ ra còn có thêm hai lực hạt nhân mạnh và yếu. Steven Weinberg và Abdus Salam đã thành công trong việc thống nhất lực điện từ và lực hạt nhân yếu thành một lực điện-yếu. Các lý thuyết thống nhất lớn dường như có khả năng thống nhất được lực điện-yếu với lực hạt nhân mạnh thành lực điện-hạt nhân. Các nhà vật lý hiện đang đem hết tâm sức làm việc nhằm thống nhất lực điện-hạt nhân với lực hấp dẫn thành một siêu lực duy nhất. Đó là cuộc tìm kiếm Lý thuyết của vạn vật, cái Chén Thánh của vật lý hiện đại. Một phiên bản của lý thuyết này là lý thuyết siêu dây, nó cho chúng ta biết rằng các hạt sơ cấp chẳng qua chỉ là những dao động của các dây vô cùng bé trong một không-thời gian 10 chiều.

lực hấp dẫn với lực điện từ, nhưng buồn thay ông đã không đạt được kết quả. Nguyên nhân thì có nhiều! Lúc đó nhiều diễn viên khác đã bước lên sân khấu và đòi hỏi mọi người chú ý đến. Được khám phá vào cuối thế kỷ XIX và do lực yếu gây ra, hiện tượng phóng xạ không tìm thấy chỗ đứng trong sơ đồ nói trên. Lực hạt nhân mạnh cũng đòi được đưa vào lý thuyết thống nhất. Salam và Weinberg chấp nhận thách thức đó và họ đã chứng minh được rằng lực điện từ và lực yếu chỉ là một lực duy nhất – lực điện-yếu. Ít lâu sau, lý thuyết thống nhất lớn xuất hiện để nói với chúng ta rằng nó có thể thống nhất được lực hạt nhân mạnh với lực điện-yếu. Còn lực thứ tư, lực hấp dẫn, thì vẫn luôn tỏ ra bướng bỉnh. Nhưng lý thuyết siêu dây đã xuất hiện và báo trước rằng nó có thể dỗ dành được lực ấy. Lý thuyết ấy giới thiệu với chúng ta thế giới như một bản giao hưởng vĩ đại của dao động các dây vô cùng nhỏ

trong một không-thời gian 10 chiều. Thế giới khi đó sẽ được chi phối bởi một siêu lực duy nhất, tổng hòa của bốn lực.

Liệu rồi chúng ta có đi được trọn con đường đó không? Liệu chúng ta có được thấy sự thống nhất trong toàn bộ vẻ đẹp của nó không? Một số người đã nghĩ là được. Về phần mình, tôi chưa tin chắc như vậy. Lý thuyết thống nhất lớn vào lúc này rất ít có cơ may được kiểm chứng bằng thực nghiệm, bởi vì điều đó đòi hỏi những năng lượng lớn kinh khủng. Nó chỉ có thể được kiểm chứng một cách gián tiếp bởi cái chết của proton. Nhưng vào lúc này, proton có một tuổi thọ vượt xa mọi dự đoán. Lý thuyết về siêu dây còn có ít cơ may được kiểm nghiệm trực tiếp hơn, vì sự thống nhất của Tất cả được dự kiến ở những năng lượng còn thách thức thậm chí cả trí tưởng tượng (tuy vậy, cũng còn chút ít cơ may: các hạt "siêu đối xứng" do lý thuyết tiên đoán có thể sẽ được phát hiện trong các máy gia tốc tương lai). Mặt khác, lý thuyết còn bị che phủ bởi một bức màn toán học dày đặc đến nỗi nó không còn liên quan gì với thực tại nữa. Chừng nào mà vật lý không bám chặt vào thực tại, nó chỉ là siêu hình mà thôi.

Ở trên chúng ta đã chiêm ngưỡng tính sáng tạo tuyệt vời của Tự nhiên trong những cái có liên quan tới vật chất vô sinh. Trong chương tới đây chúng ta sẽ xem Tự nhiên đã sử dụng tính sáng tạo của nó để tạo ra sự sống như thế nào.

CHƯƠNG SÁU

VŨ TRỤ SÁNG TẠO

Ngợi ca sự không hoàn hảo

Nhờ có sự dẫn dắt của đối xứng mà các nhà vật lý đã tiến gần đến sự thống nhất. Họ đã phát hiện ra rằng vào thời điểm Sáng thế, khi Vũ trụ còn cực kỳ bé nhỏ, nóng bỏng và đậm đặc, có thể các lực đã thống nhất với nhau và sự thống nhất đó là hoàn hảo. Trái lại, ngày nay, sau 15 tỷ năm tiến hóa, chúng ta đang sống trong một thế giới phức tạp và đa dạng đáng kinh ngạc, bị chi phối bởi bốn lực khác nhau với cường độ và đặc tính cũng hoàn toàn khác nhau. Ví dụ, lực hạt nhân mạnh, mạnh gấp trăm lần lực điện từ, và mạnh gấp 10^{39} lần lực hấp dẫn. Vật chất cũng tỏ ra đa dạng tới mức khó tưởng tượng nổi. Các quark kết hợp thành từng nhóm 3 hạt một để tạo thành proton và nơtron, nhưng các electron lại không hết hợp với nhau thành những cấu trúc khác. Các hạt này có khối lượng và điện tích trong khi các photon và nơtrino lại không có.

Tự nhiên thích thay đổi càng nhiều càng tốt. Tại sao nó lại không lựa chọn tiếp tục duy trì sự thống nhất hoàn hảo đã có từ buổi đầu? Tại sao nó lại không lựa chọn phương án chế tạo ra những viên

gạch vật chất hoàn toàn giống nhau? Câu trả lời thật đơn giản: một Vũ trụ hoàn hảo thực ra có thể tồn tại, nhưng đó sẽ là một Vũ trụ khô cằn và tẻ nhạt. Một Vũ trụ như thế không thể dung nạp hương thơm của hoa hồng, tiếng hót lảnh lót của họa mi, cũng không thể dung nạp những ráng hồng rực rỡ của cảnh hoàng hôn hay những bông hoa súng của Monet. Đặc biệt một Vũ trụ như thế không thể sản sinh ra ý thức hay trí thông minh có khả năng đặt ra những câu hỏi về lịch sử và số phận của nó. Sự thống nhất hoàn hảo, sự đối xứng không tì vết, sự hoàn thiện tuyệt đối là đồng nghĩa với cằn cỗi và cái chết. Nguyên lý của sự sống sẽ tàn tạ trước một sự hoàn hảo lạnh tanh của một đối xứng quá ư chính xác hay của một sự thống nhất quá ư tuyệt đối. Trong một thế giới hoàn hảo sẽ không có sự phân hóa, và chúng ta không thể tồn tại. Chúng ta đang có mặt trên đời này chính là bởi vì đối xứng đã bị phá vỡ.

Tầm quan trọng đó của sự không hoàn hảo có thể được thấy trong nhiều lĩnh vực khác nhau, từ vật lý, toán học đến sinh học. Những cái không hoàn hảo thường có ích, nếu không muốn nói là cần thiết. Những sai số, khiếm khuyết, pha tạp, ngoại lệ nhỏ nhặt đối với quy tắc, tất cả những cái đó đều cần thiết cho sự vận hành tốt của các hệ thống. Thí dụ sau đây của ngành đường sắt ở Nhật Bản đã chứng tỏ sự thật này.

Từ lâu người ta đã tự hỏi: tại sao hệ thống treo dây cáp cấp điện cho các đầu máy xe lửa mà người Pháp bán cho nước Nhật lại chóng hỏng hơn ở Pháp? Cho đến một ngày kia người ta mới nhận ra rằng các kỹ sư Nhật Bản, vốn là những người tôn thờ quá mức tính chính xác, đã trồng các cột điện cách nhau đúng 100m, trong khi người Pháp chỉ trồng chúng ở khoảng cách *xấp xỉ* 100m mà thôi. Do sự khác biệt nhỏ này mà một hệ thống sóng dao động với biên độ lớn đã được thiết lập, khiến cho dây cáp điện cọ xát vào

hệ thống treo làm cho chúng chóng hỏng. Vấn đề ở đây là sự quá hoàn hảo của hệ thống; giải pháp ở đây chỉ là tạo ra một sự không hoàn hảo nhỏ trong khoảng cách giữa các cột điện.

Sự hoàn hảo theo thời gian cũng tỏ ra tai hại như sự hoàn hảo về không gian: những đoàn lính không bao giờ được đi đều bước trên một cây cầu, bởi vì những gót giầy nện đều đều và đồng bộ dễ tạo ra sự cộng hưởng có nguy cơ làm đổ sập cầu.

Trong khi sự hoàn hảo là khô cằn, thì sự không hoàn hảo lại phong phú và giàu tiềm năng. Nếu không thêm những chất pha tạp vào các tinh thể silic và germani để tạo nên các tranzito trong máy thu thanh của bạn, làm sao bạn có thể nghe được những chương trình phát thanh mà bạn yêu thích. Những chất pha tạp nhằm đưa vào những “bất ngờ” trong sự lặp lại đến vô tận của mạng tinh thể các nguyên tố đó đã làm cho dòng điện trong các tranzito chạy được dễ dàng hơn. Trong dược học, đôi khi những dược liệu tinh khiết lại diệt trùng kém hiệu quả hơn so với những dược liệu tự nhiên không được tinh khiết bằng. Nếu như vật chất sống là một bộ máy hoàn hảo, được lập trình để sinh sản mãi mãi, bất di bất dịch mà không có một sự biến đổi nào, thì sự sống đó không thể tiến hóa được. Nó sẽ mãi mãi dậm chân ở giai đoạn nguyên thủy. Chính nhờ có những sự không hoàn hảo trong quá trình sinh sản mà những cấu trúc mới có thể xuất hiện và sự sống mới tiến hóa được. Một gen được biến đổi (có thể do tương tác với tia Vũ trụ), một nhiễm sắc thể tự tổ chức lại sau khi bị phá vỡ sẽ là nguồn gốc của những đột biến và tiến hóa. Những sự không hoàn hảo của việc sao chép các gen là nguồn gốc của sự vô cùng phong phú và đa dạng của các loài thực vật và động vật hiện đang sống trong hệ sinh thái của chúng ta, từ những cây hoa tai chuột mảnh mai cho tới những cây bao báp khổng lồ, từ những con vi khuẩn

ký sinh cho tới con người biết tư duy. Những đền thờ của đạo Hindu không hoàn toàn đối xứng; theo truyền thuyết thì sự quá hoàn hảo làm cho các thần linh ghen tỵ. Nhưng phải chăng đó là bởi vì sự hoàn hảo của một tác phẩm nghệ thuật cũng như của Tự nhiên đều nảy sinh từ sự không hoàn hảo được kiểm soát của các chi tiết? Bởi vì sự hoàn hảo đích thực là cằn cỗi trong khi sự không hoàn hảo có chừng mực chính là nguồn gốc phát sinh ra cái mới.

Nam châm và chất siêu dẫn bị làm lạnh sẽ mất tính đối xứng của chúng

Lịch sử của Vũ trụ được tạo ra bằng một loạt những đối xứng bị phá vỡ, những cái không hoàn hảo được kiểm soát. Chính cái khiếm khuyết này trong sự hoàn hảo đã cho phép chúng ta tồn tại và đêm đen lấp lánh các vì sao cùng các thiên hà. Thế giới lung linh sắc màu nhưng cũng ầm ĩ tiếng động và những cơn thịnh nộ. Gió mơn man gò má chúng ta và đem đến cho chúng ta hương thơm của muôn hoa. Những đợt sóng đại dương êm ái xô bờ và ru ta vào giấc ngủ. Mặt trời chiếu rọi ánh nắng rực rỡ trên các đồng cỏ bao la. Sở dĩ có được toàn bộ vẻ đẹp đó, vẻ đẹp đã an ủi tâm hồn chúng ta, là bởi vì không chỉ có một mà có tới bốn lực. Chính lực hấp dẫn đã tập hợp vật chất xung quanh các hạt mầm của thiên hà, tức những chỗ mà mật độ Vũ trụ có những thăng giáng nhỏ khác thường, xuất hiện trong khoảng 300.000 năm đầu tiên, để rồi chúng lớn lên thành các ngôi sao và các thiên hà. Cũng chính nhờ lực đó mà sau này các hạt bụi đã kết tụ lại thành hành tinh và các mặt trăng. Lực hạt nhân mạnh liên kết proton với nơtron thành hạt nhân nguyên tử, từ đó sản sinh ra vật chất ở trong ta và bao quanh ta. Lực điện từ bằng cách gắn kết các nguyên tử và phân tử

đã cho phép xuất hiện những chuỗi xoắn kép ADN và sự sống. Còn về lực yếu, chính lực này đã gây ra những phản ứng hạt nhân, nguồn năng lượng nuôi dưỡng ngọn lửa của các vì sao. Bốn lực này đã tạo ra toàn bộ sự đa dạng và phong phú của vạn vật trong cuộc sống. Tuy nhiên, như chúng ta đã thấy, rất có thể vào lúc khởi thủy của Vũ trụ, bốn lực này chỉ là một.

Để tạo ra cái mới và độ phức tạp, Vũ trụ đã phải phá vỡ sự đối xứng hoàn hảo của các lực nguyên thủy. Nó làm việc này một cách tự phát (chính vì thế mà các nhà vật lý gọi hiện tượng này là "sự phá vỡ đối xứng tự phát") trong quá trình bị nguội lạnh đi. Thật vậy, sự làm lạnh bao giờ cũng phá vỡ đối xứng. Điều này dễ dàng nhận thấy khi chúng ta quan sát một cục nước đá: ở nhiệt độ cao, cục nước đá sẽ tan thành nước, mà nước thì không có cấu trúc gì đặc biệt, nên nó là đối xứng. Trái lại, khi hạ nhiệt độ xuống dưới 0^{o}C, nước sẽ biến thành nước đá; đối xứng đã bị phá vỡ, bởi vì các tinh thể nước đá có một sự định hướng không gian đặc biệt, điều này làm cho tất cả các hướng của không gian không còn là tương đương nữa. Như vậy, cái lạnh đã làm thay đổi trạng thái lỏng của nước sang trạng thái rắn (các nhà vật lý gọi sự thay đổi trạng thái này là "sự chuyển pha") và do đó đã sinh ra cấu trúc từ một trạng thái không có cấu trúc.

Một ví dụ khác liên quan đến nam châm. Ở nhiệt độ cao, từ tính không được kích hoạt và nam châm không hút các đinh sắt được nữa. Thực tế, một nam châm được cấu tạo từ những nam châm cực nhỏ. Khi bị nung nóng, các nam châm vi mô này chuyển động hỗn loạn, định hướng lung tung, khiến cho các hiệu ứng từ của cả khối bị triệt tiêu. Nhưng một khi nhiệt độ hạ xuống dưới ngưỡng tới hạn là 770^{o}C thì hiệu ứng từ lại tự nhiên xuất hiện, bởi vì các nam châm vi mô không còn định hướng hỗn loạn nữa, mà ngoan

ngoãn gióng theo cùng một hướng duy nhất để tạo nên một từ trường vĩ mô. Vậy là cả ở đây nữa, đối xứng của các hướng tiểu nam châm lại bị sự làm lạnh phá vỡ.

Hiện tượng giống như thế cũng xảy ra đối với các vật liệu "siêu dẫn". Các vật liệu này có một tính chất đặc biệt là khi được làm lạnh xuống dưới một nhiệt độ nào đó, chúng đột nhiên mất hết điện trở lúc có dòng điện đi qua. Thay vì chuyển động một cách độc lập với nhau theo những quỹ đạo hết sức phức tạp như trong một vật dẫn điện thông thường, ở đây hàng tỷ electron tạo nên dòng điện, dịch chuyển ở nhiệt độ thấp như một thực thể duy nhất với một chuyển động có mức độ tương quan và tổ chức rất cao. Chuyển động có tính phối hợp đó cho phép các electron di chuyển không mất năng lượng và cũng không làm nóng vật dẫn. Sự tiết kiệm năng lượng này có sức hấp dẫn ghê gớm đối với các nhà công nghiệp. Họ hy vọng có thể sử dụng chất siêu dẫn để chế tạo các máy tính và các đường dây điện thoại.

Chuyển động có tổ chức trên quy mô lớn cũng đã được quan sát thấy ở các chất "siêu chảy" như hêli lỏng: chất này được làm lạnh tới nhiệt độ rất thấp sẽ mất hết độ nhớt và chảy không có ma sát, do đó không mất mát năng lượng. Và lại một lần nữa, cái lạnh đã phá vỡ tính đối xứng, bằng cách đẩy các electron (trong chất siêu dẫn) và các nguyên tử hêli (trong chất siêu chảy) cùng đi theo một hướng rất xác định.

Vũ trụ phá vỡ tính đối xứng

Giống như đối với nước, nam châm, các chất siêu dẫn hoặc siêu chảy, cái lạnh cũng cho phép Vũ trụ phá vỡ tính đối xứng và tiến tới sự phức tạp. Như chúng tôi đã trình bày khá chi tiết trong tác

phẩm *Giai điệu bí ẩn*[1], Vũ trụ ra đời nhờ có sự thăng giáng lượng tử, xuất phát từ một chân không vô cùng nhỏ bé. Sự hiểu biết của chúng ta về những khoảnh khắc đầu tiên này của Vũ trụ là chưa thật xác tín, nhất là đối với thời kỳ chưa đầy 10^{-43} giây sau Big Bang và kích thước nhỏ hơn 10^{-33}cm (những ngưỡng này được gọi tương ứng là thời gian và chiều dài Plank), vì như đã thấy ở trên, chúng ta chưa có một lý thuyết về hấp dẫn lượng tử. Đằng sau bức tường tri thức, cũng còn gọi là ‘’hàng rào Plank” đó, còn ẩn dấu một thực tại không thể tiếp cận, mà rất có thể đó là nơi cư ngụ các siêu dây dao động trong một không-thời gian 10 chiều. Chỉ đến khi chiếc đồng hồ Vũ trụ điểm 10^{-43} giây thì thời gian và không gian ba chiều quen thuộc của chúng ta mới xuất hiện. Khi đó Vũ trụ quan sát được có một nhiệt độ cao không thể tưởng tượng nổi, cỡ 10^{32} độ. Ở thời điểm 10^{-43} giây, lực hấp dẫn bắt đầu tách ra khỏi sự thống nhất và kể từ đó tồn tại biệt lập. Ba lực khác vẫn còn thống nhất với nhau thành lực điện-hạt nhân, và như vậy Vũ trụ do cặp lực đó (tức lực hấp dẫn và lực điện-hạt nhân) chi phối. Sau đó, ở 10^{-35} giây, khi Vũ trụ đã nguội khoảng 100.000 lần, tức là chỉ còn cỡ 10^{27} độ, sự phá vỡ đối xứng thứ hai diễn ra. Lúc này lực mạnh tách riêng ra. Các lực hấp dẫn, mạnh và điện-yếu hợp thành một “tam đầu chế” chi phối Vũ trụ.

Sự phá vỡ đối xứng lần thứ hai này có những hậu quả quan trọng đối với tương lai của Vũ trụ. Giống như nước (khi phá vỡ đối xứng để biến thành băng, nó giải phóng một nhiệt lượng), Vũ trụ khi phá vỡ đối xứng cũng giải phóng một năng lượng rất lớn của chân không. Năng lượng này làm cho Vũ trụ lồng lên trong

1. Trịnh Xuân Thuận, *La Mélodie secrète* (Bản dịch tiếng Việt của Phạm Văn Thiều, NXB Trẻ, 2013)

một sự giãn nở cuồng loạn được gọi là "lạm phát", diễn ra trong một thời gian cực ngắn chỉ khoảng 10^{-32} giây, song cũng đủ để cho cả ba chiều kích thước của Vũ trụ sau đó tăng lên cả trăm lần và đạt tới kích thước một quả cam. Kết thúc của pha lạm phát được đánh dấu bằng một sự phá vỡ đối xứng mới: vật chất và ánh sáng trước đó thống nhất dưới dạng năng lượng, nay tách ra khỏi nhau. Chúng sinh ra theo hệ thức giữa khối lượng và năng lượng, như Einstein đã mô tả, và chân không vốn không có cấu trúc bỗng nhiên bị xâm chiếm bởi hàng tỷ hạt. Các quark, lepton, photon và những phản-hạt của chúng, ào ạt xuất hiện. Vũ trụ tiếp tục giãn nở song có chừng mực hơn. Nó lạnh dần đi và khi đồng hồ Vũ trụ điểm 10^{-12} giây thì nhiệt độ của nó chỉ còn 10^{15} độ. Sự lạnh đi một triệu triệu lần lại gây ra sự phá vỡ đối xứng mới. Lực yếu tách ra khỏi lực điện-yếu. Kể từ đây các lực chia thành bốn lực để tạo nên tính phức tạp của Vũ trụ. Mỗi sự phá vỡ đối xứng lại sáng tạo ra những tiềm năng mới và những cấu trúc mới.

Vũ trụ hơi thiên vị đối với vật chất

Nếu các lực được sinh ra sau một chuỗi những đối xứng bị phá vỡ để làm ra thế giới, thì sự tồn tại của chúng ta cũng là nhờ một đối xứng khác bị phá vỡ, đó là đối xứng giữa vật chất và phản-vật chất. Đối xứng vật chất và phản-vật chất là một trong những quy luật hết sức thiêng liêng của tạo hóa. Vật chất là một dạng năng lượng, nó có thể được tạo ra trong các máy gia tốc hạt, nhưng khi chúng ta sản xuất ra nó, bao giờ cũng luôn kèm theo một lượng phản-vật chất đúng bằng thế. Vậy nếu trong Vũ trụ nguyên thủy, năng lượng của chân không sản sinh ra vật chất luôn luôn kèm theo phản-vật chất, thì tại sao hiện nay chúng ta sống trong một

Vũ trụ hầu như chỉ được làm bằng vật chất? Phản-vật chất đã đi đâu? Chúng ta biết rõ rằng trong dải Ngân Hà không hề có hằng hà sa số những phản-sao với những bầu đoàn phản-hành tinh, mà ở đó các phản-người đang ngồi đọc các phản-sách! Các tia Vũ trụ, tức là dòng các hạt được sinh ra trong cơn hấp hối bùng nổ của các sao nặng, đến từ Vũ trụ và cho chúng ta biết rằng: chúng chỉ chứa chưa đầy 0,01% phản-vật chất. Sau nữa, người ta không hề phát hiện thấy một số lượng cực lớn các tia X, mà lẽ ra cần phải được sinh ra trong sự hủy của vật chất / phản-vật chất nếu thi thoảng một thiên hà gặp một phản-thiên hà chẳng hạn. Người ta có thể đặt giả thuyết rằng vật chất và phản-vật chất đã tách ra khỏi nhau, mỗi kẻ sống ở những xó xỉnh khác nhau của Vũ trụ và không bao giờ còn gặp nhau nữa. Song giả thuyết này khó có thể được chấp nhận, bởi vì cả hai được hòa quyện khăng khít với nhau.

Như chúng ta đã thấy, nếu có một sự đối xứng hoàn hảo và do vậy có bao nhiêu hạt thì có ngần ấy phản-hạt, chúng ta đã không có mặt ở đây để tranh luận về vấn đề này. Vật chất và phản-vật chất có lẽ đã hủy nhau hoàn toàn và Vũ trụ chỉ còn chứa các hạt photon. Rồi các photon này liên tục bị suy giảm về năng lượng, do sự giãn nở và lạnh dần của Vũ trụ, chúng không còn đủ năng lượng để sản sinh ra các hạt và phản-hạt được nữa (năng lượng của photon ít ra cũng phải ngang bằng khối lượng của hạt hoặc phản-hạt nhân với bình phương của vận tốc ánh sáng). Khi đó, Vũ trụ chỉ là một thế giới ngập tràn ánh sáng, không có khả năng sinh ra các vì sao, các thiên hà và chính con người. Nhưng do chúng ta đang hiện hữu, nên chắc hẳn Vũ trụ đã phải sớm tìm ra một cách để phá vỡ đối xứng vật chất / phản-vật chất. Ngày nay người ta cho rằng Vũ trụ đã làm điều đó ở thời điểm 10^{-32} giây sau Big Bang, tức là vào lúc kết thúc pha giãn nở lạm phát, khi năng lượng của chân

không đang sản sinh ra các hạt và phản-hạt. Và chính lúc này, Tự nhiên đã tỏ ra thiên vị ít nhiều đối với vật chất. Cụ thể là cứ mỗi tỷ phản-quark xuất hiện từ chân không thì Tự nhiên lại thu xếp sao cho có *một tỷ linh một* hạt quark. Một sự khác biệt nhỏ nhoi như thế nhưng lại có hệ quả rất to lớn. Thực vậy, sau này vào khoảng một phần triệu giây đầu tiên, khi Vũ trụ đã hạ thấp nhiệt độ xuống còn 10.000 tỷ độ - đủ để cho các quark tập hợp lại thành từng bộ ba tạo nên các nơtron và proton, và để cho các phản-quark tạo thành các phản-hạt của chúng, thì tuyệt đại đa số các quark và phản-quark đã hủy nhau hoàn toàn để trở thành ánh sáng. Song, đối với mỗi tỷ hạt và phản-hạt hủy nhau để tạo ra một tỷ photon, còn lại đúng một hạt vật chất, nhưng không có hạt phản-vật chất tương ứng để hủy nhau. Như vậy, chúng ta tồn tại và cơ thể chúng ta chỉ được làm bằng vật chất là bởi vì Tự nhiên đã có một phần tỷ ưu ái đối với vật chất hơn so với phản-vật chất. Và điều này cũng giải thích được tại sao trong Vũ trụ ngày nay, cứ một tỷ hạt ánh sáng lại có một hạt vật chất.

Nhưng tại sao lại có sự phá vỡ đối xứng này? Hiện chưa có câu trả lời, mặc dù các nhà vật lý đã có những nỗ lực hết sức to lớn, đặc biệt là nhà khoa học Xô viết đã quá cố, viện sĩ Andrei Sakharov (1921-1989). Các quá trình vật lý có thể sản sinh ra sự bất đối xứng vật chất / phản-vật chất dường như lại có liên quan đến các quá trình dẫn tới cái chết của proton. Vậy là lại có thêm một lý do nữa để các nhà vật lý không thể ngồi chờ hạt này phân rã.

Như vậy, Tự nhiên đã phải đưa cái không hoàn hảo có kiểm soát vào trong cái hoàn hảo, để cho phép chúng ta có mặt ở cõi đời này. Để làm điều đó, Tự nhiên đã tự phát phá vỡ đối xứng giữa các lực và đối xứng giữa vật chất với phản-vật chất. Bởi vì Vũ trụ trong buổi sơ khai của nó chỉ là một món súp nguyên thủy của các

hạt cơ bản, nên vật lý hạt cho phép chúng ta hiểu được từng phần đối xứng đã bị phá vỡ như thế nào. Sự tiếp cận theo cách quy giản hành trạng của Vũ trụ về hành trạng của các hạt dưới nguyên tử đã tỏ ra có hiệu quả và nó cho phép chúng ta tiến bộ rất nhiều trong công cuộc tìm hiểu Vũ trụ. Nhưng để đi xa hơn nữa, cách tiếp cận "quy giản" này liệu có đủ không, hay chúng ta phải có những cách tiếp cận khác mang tính "tổng thể" hơn trong việc xem xét Vũ trụ?

Những núi đá vôi ở Vịnh Hạ Long

Ở xứ sở quê hương tôi, xứ sở mang cái tên hiền dịu Việt Nam, cách cảng Hải Phòng chưa đầy 100km và cách Hà Nội về phía Đông cũng khoảng 100km, có một kỳ quan thiên nhiên của thế giới là Vịnh Hạ Long (xem ảnh 14 của tập ảnh màu). Ngồi trên một con tàu lắc lư một cách dễ chịu, dưới sức đẩy nhè nhẹ của các đợt sóng ngũ sắc, tôi ngắm nhìn không chán mắt cảnh tượng hùng vĩ này và thả mình đắm chìm vào vẻ đẹp của cảnh quan cùng với sự tinh khiết của nó nữa. Trước mắt tôi là vô vàn những núi đá vôi, dáng thon thả, nổi lên đây đó trên mặt nước bao la và chĩa thẳng lên trời. Đó là những khối đá vôi đã được đẽo gọt qua nhiều thế kỷ bởi sự xói mòn do mưa xối và sóng biển với những thảm thực vật um tùm xanh biếc. Tất cả vẻ đẹp ấy đã làm cho Vịnh Hạ Long trở thành một kỳ quan nổi tiếng. Những hình điêu khắc ấy đều được cấu tạo bởi một hợp chất hóa học đơn giản có tên là canxi cacbonat. Nếu được xem xét kỹ một mẫu vật qua kính hiển vi, tôi sẽ phát hiện ra rằng chất đá vôi được cấu tạo bởi vô số những hóa thạch của các động vật nhỏ li ti, đã sống từ rất lâu đời trong biển Đông. Xác của chúng trải qua hàng triệu năm đã lắng đọng thành tầng tầng lớp lớp bị nén chặt dưới đáy đại dương, từ đó đã sinh ra cấu trúc đá vôi hùng vĩ mà giờ đây nhiều khách du lịch phải ngưỡng mộ.

Chúng ta ai mà chưa từng làm quen với hòn phấn viết được làm bằng chất đá vôi. Các nhà giáo dùng nó để viết lên bảng đen và dạy cho học trò của mình những kiến thức cơ bản về đại số và triết học. Hòn phấn đó màu trắng. Tại sao? Câu trả lời chúng ta đều đã biết. Ánh sáng thấy được màu trắng của ánh nắng Mặt trời chiếu sáng mọi vật và làm cho ta cảm nhận được các vật quanh ta là một hỗn hợp của các màu cầu vồng, từ tím tới đỏ. Màu của một vật phụ thuộc vào màu của ánh sáng Mặt trời không bị vật đó hấp thụ, nhưng bị phản xạ đập vào mắt ta. Chẳng hạn những viên ngọc lam trên vòng trang sức đeo cổ sang trọng của những phụ nữ có màu nằm trong khoảng trung gian giữa màu lam và lục, bởi vì photphat nhôm và đồng tạo nên những viên ngọc đó hấp thụ mạnh màu đỏ và da cam, nhưng lại phản xạ hầu hết ánh sáng màu lam và lục. Cũng tương tự như vậy, viên phấn trắng là bởi vì canxi cacbonat phản xạ toàn bộ ánh sáng trắng của Mặt trời và không hấp thụ bất kỳ một màu sắc cầu vồng nào (nó hấp thụ các tia hồng ngoại và tử ngoại, nhưng những tia đó không liên quan tới chúng ta, vì mắt ta không nhìn thấy chúng). Vậy thì tại sao các núi đá vôi ở Vịnh Hạ Long lại không trắng như hòn phấn? Bởi vì các núi đá đó không chỉ bằng chất canxi cacbonat. Các hạt bụi li ti lắng đọng trên bề mặt của khối đá, qua thời gian địa chất đã làm cho chúng có một màu xám nhạt hơi buồn tẻ.

Một câu hỏi nữa tự nhiên được đặt ra là tại sao một số vật như ngọc lam lại hấp thụ một số màu cầu vồng, trong khi các vật khác như hòn phấn lại không? Có hai lý do. Lý do thứ nhất có liên quan đến bản chất lượng tử của ánh sáng: một tia sáng gồm vô số các hạt ánh sáng (photon), không có điện tích, cũng không có khối lượng, nhưng mỗi hạt đều có một năng lượng rất xác định. Lý do thứ hai có liên quan đến bản chất lượng tử của vật chất: các chất

đều được cấu tạo bởi các nguyên tử và phân tử. Một nguyên tử chỉ có thể tồn tại trong một số trạng thái năng lượng nhất định. Năng lượng này không thể thay đổi một cách tùy tiện, mà chỉ có thể thay đổi theo những lượng rất xác định. Nguyên tử (hay phân tử) thường ở trạng thái có năng lượng thấp nhất (trạng thái cơ bản), nó chỉ có thể chuyển tới năng lượng cao hơn bằng cách hấp thụ một photon có một năng lượng rất chính xác. Năng lượng này đúng bằng hiệu số năng lượng của trạng thái ban đầu và trạng thái cuối cùng của nguyên tử. Mà các nguyên tử đồng, một thành phần của đá lam ngọc, lại có chênh lệch năng lượng so với năng lượng ở trạng thái cơ bản một lượng đúng bằng năng lượng của photon màu đỏ pha da cam. Chính điều đó giải thích tại sao phần đỏ pha da cam của ánh sáng Mặt trời lại bị hấp thụ và đá lam ngọc có màu xanh lam. Trái lại, các phân tử trong đá vôi không có trạng thái mà hiệu năng lượng của trạng thái đó với năng lượng của trạng thái cơ bản tương ứng với năng lượng của các photon nhìn thấy được trong ánh sáng Mặt trời. Các photon này không bị hấp thụ, toàn bộ ánh sáng Mặt trời được phản xạ vào mắt chúng ta, và như vậy đá vôi có màu trắng.

Nhưng tại sao các nguyên tử và phân tử chỉ có thể tồn tại ở những năng lượng rất xác định? Tại sao các năng lượng này lại có những giá trị như chúng đang có? Cơ học lượng tử, mà cụ thể là phương trình sóng Schrodinger, sẽ cho ta câu trả lời. Hoàn toàn giống như không khí trong đàn ống của nhà thờ chỉ có thể dao động với những tần số nhất định, các hạt ở trong nguyên tử cũng chỉ có thể cùng tồn tại ở những trạng thái có năng lượng xác định.

Và rồi tại sao vật chất lại được cấu tạo bằng các hạt? Tại sao lại có ánh sáng? Giống như một đứa trẻ tò mò luôn đặt ra những câu

hỏi tại sao bất tận đối với chúng ta và tính tò mò của nó không bao giờ được thỏa mãn, chính chúng ta cũng tự đặt ra cho mình một chuỗi dài những câu hỏi và cuối cùng đã dẫn chúng ta đến các hạt cơ bản và mô hình chuẩn, mô hình mô tả bản chất và hành trạng của các hạt ấy. Phương pháp tiến hành ở đây là quy giản sự phong phú, đa dạng và vẻ đẹp của thế giới về chỉ còn các hạt, các trường lực và các tương tác. Phương pháp này còn đưa ra một giả thuyết rằng mọi hệ vật lý đều có thể tách ra thành các thành phần sơ cấp, và hành trạng của hệ có thể hiểu và giải thích được thông qua hành trạng các thành phần được xem là cơ bản đó. Cách tiếp cận quy giản luận đó cho rằng toàn bộ sự phức tạp của thế giới, như nước hoa, tiếng chó sủa, nụ cười trẻ thơ, tất tần tật đều có thể giải thích được bởi các quy luật vật lý.

Quá khứ vẻ vang của quy giản luận

Quy giản luận đã có một ảnh hưởng rất sâu sắc đến tư duy khoa học Tây phương. Do Tự nhiên rất phức tạp, nên việc quy giản nó về những yếu tố đơn giản nhất đã cho phép đạt được nhiều tiến bộ. Vật lý học như chúng ta đã biết sẽ không thể có được, nếu như không có quá trình đơn giản hóa đó. Chúng ta cũng đã thấy sức mạnh của phương pháp quy giản luận trong thực tiễn, khi suy ngẫm về màu sắc của các núi đá ở vịnh Hạ Long. Chúng ta cũng có thể làm hệt như thế đối với bất kỳ một thuộc tính nào khác của chúng.

Chẳng hạn chúng ta hãy xét thành phần hóa học của các núi đá này. Đá vôi được cấu tạo bởi ba nguyên tố hóa học: canxi, cacbon và oxy, với khối lượng tương ứng của chúng luôn theo đúng tỷ lệ 40, 12 và 48%. Tại sao có các tỷ lệ này và tại sao chúng lại mãi mãi

như thế? Tại sao tỷ lệ ấy bao giờ cũng như vậy? Sở dĩ như vậy là bởi vì khối lượng (tính theo đơn vị cacbon) tương ứng của các nguyên tử canxi, cacbon và oxy tuân theo các tỷ lệ 40/12/16, và bởi vì mỗi phân tử canxi cacbonat chứa một nguyên tử canxi và một nguyên tử cacbon cùng với ba nguyên tử oxy. Nhưng tại sao số các nguyên tử oxy lại phải nhiều gấp ba lần nguyên tử canxi và cacbon? Ta biết rằng trong một phân tử, số lượng nguyên tử của mỗi nguyên tố hóa học được xác định bởi số lượng electron trao đổi giữa nguyên tố đó và các nguyên tố ở bên cạnh. Chẳng hạn cacbon có 6 electron, oxy có 8 và canxi có 20. Trong số các electron này, cơ học lượng tử nói rằng nguyên tử cacbon có 4 electron để trao đổi, trong khi đó nguyên tử canxi chỉ có 2. Còn đối với nguyên tử oxy, nó không có electron nào để chia sẻ cả, nhưng lại có thể nhận thêm 2. Như vậy là khi kết hợp với một nguyên tử cacbon và một nguyên tử canxi, ba nguyên tử oxy có thể nhận cả thảy 6 electron, đúng bằng số electron mà hai nguyên tố kia có thể cung cấp. Và chính lực điện của các electron được chia sẻ này đã làm cho các nguyên tử của ba nguyên tố đó gắn kết với nhau trong một phân tử.

Vậy thì tại sao lại có tỷ lệ 40, 12, 16 ứng với khối lượng mol của các nguyên tử? Đó là do hạt nhân nguyên tử được cấu tạo bởi các proton và nơtron, mà hạt nhân của nguyên tử canxi chứa tất cả là 40 (20 proton cung cấp số điện tích dương cần thiết để triệt tiêu 20 điện tích âm của electron, vì nguyên tử phải trung hòa về điện, và 20 nơtron), hạt nhân của cacbon có 12 (6 proton và 6 nơtron) và hạt nhân của oxy có 16 (8 proton, 8 nơtron). Tại sao lại phải có mặt các nơtron trong hạt nhân nguyên tử, trong khi chúng không mang một điện tích nào? Như chúng ta đã thấy, đó là để giữ ổn định cho các hạt nhân nguyên tử. Nếu như không có các nơtron, lực điện đẩy giữa các proton sẽ làm vỡ tung hạt nhân. Các nơtron

hút các proton bằng lực mạnh một cách mãnh liệt đến nỗi hạt nhân nhỏ hơn nguyên tử tới 100.000 lần, khiến cho nguyên tử hầu như là trống rỗng. Nhưng tại sao proton và nơtron lại có cùng một khối lượng như nhau và tại sao nơtron lại trung hòa về điện, trong khi proton lại có điện tích? Hai hạt này có cùng một khối lượng bởi vì cả hai đều được cấu tạo bởi cùng một số lượng và cùng một loại quark, quark "up" và quark "down". Còn sự khác biệt về điện tích là do proton được cấu tạo bằng 2 quark "up", mỗi quark có điện tích ⅔, và quark "down" với điện tích là -⅓, trong khi nơtron gồm 2 quark "down" và 1 quark "up".

Như vậy là một loạt các câu hỏi tại sao đã một lần nữa đưa chúng ta đến mô hình chuẩn. Nghĩa là vấn đề thành phần hóa học của các núi đá ở Vịnh Hạ Long lại một lần nữa tìm thấy câu trả lời trong vật lý hạt. Và cũng một lần nữa, khi quy giản một hệ thống phức tạp về các thành phần cấu tạo của nó, chúng ta đã tiến bộ thêm và hiểu thêm được nhiều điều. Phương pháp quy giản luận thật sự có hiệu quả và không còn nghi ngờ gì nữa, nó đã có một quá khứ rất vẻ vang. Song phải chăng đó là phương pháp duy nhất mà ta có thể tưởng tượng ra? Liệu chúng ta có thể quy giản được mọi hiện tượng của thế giới về sân khấu của các hạt cùng với những tương tác của chúng? Đặc biệt là trường hợp phức tạp nhất, sự sống? Xét cho cùng thì các núi đá ở Vịnh Hạ Long cũng được sản sinh ra bởi sự sống. Chúng được cấu tạo bởi vô số những hóa thạch của các loài động vật nhỏ bé, những động vật này đã hấp thụ và sử dụng các muối canxi và khí cacbonic hòa tan trong nước biển thời xa xưa, để từ đó tự tạo ra các vỏ cứng bằng canxi cacbonat bao quanh cơ thể mong manh của mình, nhằm tự bảo vệ trước các loài vật săn mồi.

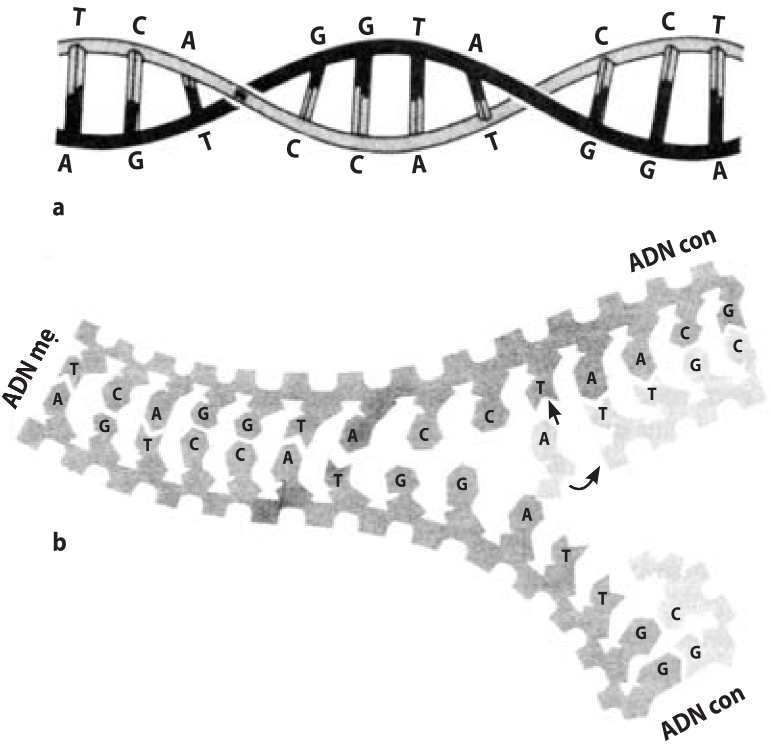
Các chuỗi xoắn kép ADN

Cách tiếp cận quy giản luận trong quá khứ đã thu được những thành công tuyệt vời trong việc nghiên cứu sự sống. Theo quan điểm đó, những thực thể sống chẳng qua chỉ là những tập hợp nguyên tử và phân tử hoạt động dưới tác dụng của bốn lực quen thuộc, theo các định luật vật lý quen thuộc. Việc giải thích sự sống được quy về giải thích hành trạng và tương tác của các thành phần phân tử cấu tạo nên các thực thể sống đó. Sự khác biệt duy nhất giữa các vật chất sống và vật chất trơ ỳ chỉ là do mức độ phức tạp khác nhau của chúng. Nói cách khác, những thực thể sinh học chỉ đơn giản là những cỗ máy cực kỳ phức tạp. Quan điểm "cơ giới" đó về sự sống khẳng định rằng sinh học chỉ là một nhánh của hóa học, mà hóa học cũng chỉ là một nhánh của vật lý mà thôi.

Việc nghiên cứu những cơ sở phân tử của sự sống đã dẫn đến những phát minh rất ấn tượng, mà ngoạn mục nhất chắc chắn là việc giải được mã di truyền, do nhà khoa học người Mỹ James Watson (1928-) và nhà khoa học người Anh Francis Crik (1916-) thực hiện vào năm 1953. Sự phát hiện của họ về các chuỗi xoắn kép ADN được coi là một trong số những cuộc phiêu lưu khoa học vĩ đại nhất của thế kỷ XX. Ngày nay chúng ta biết rằng sự sống trên Trái đất là sản phẩm của sự hợp tác hài hòa giữa hai lớp phân tử rất lớn: đó là các axit nucleic và các protein. Các axit nucleic (được gọi như vậy vì chúng nằm ở nhân của các tế bào sống) có 2 loại và mang những cái tên nghe muốn chóng mặt là axit desoxyribonucleic và ribonucleic, nhưng được nhiều người biết đến qua các tên viết tắt của chúng là ADN và ARN.

Mỗi axit nucleic có một chức năng riêng. Các phân tử ADN là những chuỗi dài được tạo bởi các phân tử đường và axit phôtphoric

xen kẽ nhau, từ đó hình thành các cấu trúc bao gồm bốn loại phân tử được gọi là các "bazơ". Hai trong số các bazơ này là những phân tử rất nhỏ có tên là timin (thymine) và xitôzin (cytosine), được tạo thành từ các nguyên tử cacbon, nitơ, oxy và hyđro xếp thành các hình lục giác. Hai bazơ khác là guanin (guanine) và ađenin (adénine) là những phân tử lớn hơn, trong đó các nguyên tử được xếp thành hình lục giác kết nối với các hình ngũ giác. Bốn "bazơ" này tạo thành bảng chữ cái của mã di truyền, giống như 26 chữ cái của bảng chữ cái Latin. Mặt khác, bốn bazơ này thường được biết đến theo bốn chữ cái đầu T, C, G và A. Các bazơ này liên kết với nhau từng đôi một. Cấu trúc và kích thước của chúng đã được định trước để sự liên kết tuân theo nguyên tắc bổ sung. Cụ thể là ađenin (lớn) được bù bởi timin (bé) và xitôzin (bé) kết đôi với guanin (lớn). Phân tử ADN có cấu trúc xoắn kép: hai chuỗi phân tử axit phôtphoric và đường xoắn đều quanh một trục và liên kết với nhau bởi các bazơ bổ sung cho nhau. Do đó cấu trúc của ADN tựa như một cầu thang hình xoắn ốc mà hai tay vịn được cấu tạo bởi các phân tử đường và axit photphoric xếp xen kẽ nhau, còn mỗi bậc thang được tạo bởi một cặp bazơ, trong đó một bazơ lớn liên kết với bazơ bé theo nguyên tắc bổ sung (H. 54a). Cấu trúc này làm cho một nửa chuỗi xoắn kép đã chứa đầy đủ mã, và nửa kia, về một phương diện nào đó, có thể coi như là thừa. Chính sự dư thừa này đã cho phép phân tử ADN tự nhân đôi, một quá trình làm cho con cái chúng ta giống bố mẹ và cũng là quá trình cơ bản đối với sự sống như là giới tính. Khi một tế bào phân đôi thì hai chuỗi của ADN cũng tách ra. Mỗi bazơ của một chuỗi lại tự lắp ghép với bazơ bổ sung của nó thuộc một chuỗi khác còn tự do trong môi trường nội bào, và bằng cách đó, thay vì một, chúng ta nhận được hai phân tử ADN giống hệt nhau (H. 54b). Mối liên hệ phân tử



Hình 54. (a) *Chuỗi xoắn kép của phân tử ADN*. Hai chuỗi xoắn được kết nối với nhau bởi 4 loại phân tử (được gọi là các bazơ), đó là adenine (A), cytosine (C), guanine (G) và thymine (T). Các phân tử này tạo nên "bảng chữ cái" của mã di truyền. Do cấu trúc và kích thước của chúng, các bazơ này chỉ có thể tổ hợp theo từng cặp và theo một cách duy nhất: A với T và C với G.

(b) *Phân tử AND sinh sản*. Hai chuỗi xoắn của phân tử AND-mẹ được tách rời ra. Hai phân tử AND con được tạo thành khi mỗi chuỗi xoắn của phân tử mẹ gắn khít với một chuỗi xoắn bổ sung của nó. Do các bazơ kết nối hai chuỗi xoắn với nhau chỉ theo một cách hoàn toàn xác định (A với T và C với G), nên trật tự của các bazơ trong hai phân tử AND-con đồng nhất với trật tự trong phân tử AND-mẹ. Như vậy, phân tử AND-mẹ đã được nhân đôi và chính điều này đã làm cho con cái giống cha mẹ.

trong một chuỗi là rất bền vững trước mọi thử thách, trong khi các mối liên hệ giữa các bazơ với nhau lại rất mỏng manh; điều này cho phép một chuỗi xoắn tách ra khỏi chuỗi kia mà vẫn nguyên vẹn, và để sinh sản một cách không sai sót. Tuy nhiên, đôi lúc cũng xảy ra những sai sót trong sao chép, các phân tử được sắp xếp lại và một đột biến gen xảy ra. Nhưng các đột biến cũng có thể do sự sắp xếp lại một cách tự phát của các phân tử.

Các protein cũng là một loại phân tử lớn, được cấu tạo theo nguyên tắc đa phân, với đơn phân là các "axit amin". Có 20 loại axit amin khác nhau. Chúng có mặt ở khắp nơi, ở người, ở mèo, ở các bông hoa hoặc ở các vi khuẩn. Protein là người làm nên mọi chuyện và là những viên gạch của sự sống. Chúng làm việc ở phạm vi phân tử và trông coi sự hoạt động của các tế bào sống. Để có sự hợp tác hài hòa giữa các phân tử ADN với các protein và để chúng liên lạc được với nhau, cần phải có một cơ chế có khả năng phiên dịch bảng 4 chữ cái của ADN thành bảng 20 chữ cái của protein. Cuốn từ điển để thực hiện việc dịch đó đã được khám phá ra vào những năm 1960. Bộ máy của tế bào đọc các bazơ theo từng bộ ba bazơ một và bộ này tiếp bộ kia. Sau khi đọc xong một bộ ba, một tín hiệu được phát ra, ra lệnh cho tế bào chế tạo ra axit amin thứ nhất. Sau đó, nó lại đọc tiếp bộ ba bazơ khác và chế tạo ra một axit amin khác, và cứ tiếp tục như thế mãi. Theo mức độ các axit amin được sản xuất ra, chúng xếp hàng để kết thành các protein, tựa như trên một dây chuyền lắp ráp xe hơi vậy. Các axit amin tự sắp xếp với nhau theo những chỉ dẫn được lưu trữ trong các phân tử ADN. Và chính ở đây một axit nucleic khác, ARN, can thiệp vào. Các đoạn của các dãy bazơ chứa những chỉ dẫn được sao chép trên phân tử ARN, phân tử chỉ gồm một chuỗi duy nhất. Chuỗi này hoạt động như người đưa tin, đến truyền thông tin cho các phân tử có cấu tạo

rất phức tạp tên là "ribosom", phân tử đóng vai trò như một nhà máy lớn sản xuất protein. Các protein bảo đảm cho các phản ứng hóa học diễn ra một cách thuận lợi bằng cách phá vỡ hoặc thắt chặt các mối liên kết phân tử, giống như người thợ cơ khí khoan các lỗ hoặc hàn các chi tiết rời lại.

Mục đích cuối cùng của Aristoteles và các lực mù quáng của Democritus

Cuộc thăm quan ngắn ngủi của chúng ta vào lĩnh vực sinh học đã cho thấy rằng các thành phần ở cấp độ phân tử của sự sống được tổ chức thành một bộ máy tuyệt vời và cực kỳ trơn tru. Ở thang phân tử, sự miêu tả có tính chất "cơ giới" như thế về sự sống với các từ ngữ như "bộ máy", "thợ máy", "nhà máy" hoặc "dây chuyền lắp ráp" đã thu được những kết quả to lớn, giúp chúng ta vén được những bức màn bí mật vĩ đại, như bí mật của hiện tượng phân bào hay hiện tượng truyền gen, thậm chí hiểu được tại sao con cái lại giống chúng ta. Nhưng một vấn đề lớn cũng được đặt ra khi xem xét cơ thể sống trong tổng thể của nó. Nếu mỗi phân tử chỉ phản ứng một cách mù quáng đối với các lực tác dụng lên nó ở một thời điểm và một nơi đã định, thì làm sao nó có thể hòa nhập và phối hợp hành trạng cá thể của nó để tạo nên một tổng thể gắn kết và hài hòa? Làm thế nào các nguyên tử cá thể di chuyển và tác động theo quy luật nhân quả của vật lý, dưới tác dụng của các lực cục bộ tạo bởi các nguyên tử liền kề, lại có thể hoạt động một cách gắn kết và phối hợp ở cấp độ toàn cơ thể, và ở những khoảng cách lớn hơn nhiều so với khoảng cách giữa các phân tử?

Dường như các phân tử đều có cùng một ý đồ to lớn, dường như chúng cùng mang sẵn trong mình một kế hoạch không được

hàm chứa trong các định luật vật lý, những định luật chỉ tác động đến những hành trạng có tính chất cục bộ. Ý tưởng cho rằng các thành phần của cơ thể sống phát triển và hành xử theo cách "tổng thể", dường như chúng đều hướng về cùng một mục đích duy nhất, là một ý tưởng không mới. Triết gia Hy Lạp Aristoteles (384-322 trước Công nguyên) cách đây 24 thế kỷ đã từng nghĩ rằng có một kế hoạch định sẵn cho sự phát triển của cơ thể sống, kế hoạch này dẫn dắt sự hoạt động của nó hướng vào một đích đã định trước. Quan niệm này của "mục đích luận" có nghĩa là các cơ thể sống đều hướng tới một mục đích. Bản thân Vũ trụ cũng là một cơ thể khổng lồ tiến hóa phù hợp với một kế hoạch rộng lớn của Vũ trụ, hướng tới một số phận tiền định. Đối lập với ý tưởng về một sự hài hòa tổng thể này là quan niệm "nguyên tử luận" mà đại diện xuất sắc nhất là triết gia Hy Lạp Democritus (460-370 trước Công nguyên). Theo ông, tất cả mọi cấu trúc và hình dáng của thế giới chỉ là sự xếp đặt khác nhau của các nguyên tử. Mọi sự thay đổi cũng như tiến hóa đều phản ánh sự sắp xếp lại của các nguyên tử đó. Vũ trụ là một bộ máy mênh mông trong đó mỗi nguyên tử đáp lại một cách mù quáng ảnh hưởng của các nguyên tử liền kề, chứ không của bất cứ cái gì khác. Mọi ý tưởng về mục đích cuối cùng đều bị bác bỏ. Sự xung đột giữa tổng thể luận với quy giản luận đã trở thành thời sự.

Tính đa dạng của sự sống

Nếu không đi đến một kết luận rằng các cơ thể sống là hình thức cao nhất của vật chất có tổ chức và sống động, chúng ta không thể ngắm nhìn một bông hoa nở, hay để tâm hồn phiêu diêu theo tiếng rì rào của các vòm lá xanh; chúng ta cũng không thể thưởng thức tiếng chim hót hay chiêm nghiệm các mối quan hệ phức tạp mang lại biết bao niềm vui và không ít nỗi đau khổ giữa con

người với con người. Sự sống rất phức tạp và cực kỳ đa dạng. Số lượng các loài sinh vật được biết đến trên Trái đất, theo nhà sinh vật học Mỹ Edward Wilson, lên tới 1,4 triệu. Song còn phải khám phá nhiều hơn nữa mới có thể biết được số lượng chính xác của chúng. Số lượng ấy có thể lên tới 10-100 triệu loài. Đại đa số các cơ thể sống là côn trùng (751.000 loài khác nhau), thực vật (248.000 loài), động vật (281.000 loài). Số còn lại là vi khuẩn, vi-rút, các loài tảo, các động vật nguyên sinh (đơn bào) và nấm, nhưng các loài này còn được nghiên cứu quá ít, nên một số rất lớn vẫn còn chưa được phát hiện.

Sự đa dạng rất đáng kinh ngạc này của các loài không chỉ đặc trưng bằng số lượng của chúng. Trong mỗi loài, sự đa dạng về hình dạng và đặc tính gần như là không có giới hạn. Chẳng hạn loài người thuộc nhiều chủng tộc khác nhau, gương mặt, tầm vóc, hình dáng của mũi và mắt, màu tóc và con ngươi cũng rất khác nhau. Mỗi con người đều có những đặc tính đơn nhất và đặc thù làm nên cá tính của họ. Tính đặc thù này của cơ thể sống khác với các hạt tồn tại trong thế giới nội nguyên tử. Khi các hạt này thuộc về cùng một loại thì chúng đều có chung những thuộc tính như nhau. Bạn chỉ cần gặp một electron là coi như bạn đã gặp tất cả các hạt này. Proton cũng chẳng thay đổi một mảy may cho dù nó nằm trong hạt nhân của một nguyên tử cacbon hay sắt.

Một thuộc tính khác cũng phân biệt các sinh vật với các hạt dưới nguyên tử. Những cặp sinh đôi giống hệt nhau, có thể mang trong mình các gen như nhau, nhưng lại có những hành trạng không hoàn toàn như nhau. Điều này minh họa cho sự khác biệt chủ yếu thứ hai giữa thế giới sống với thế giới vô sinh. Các hạt dưới nguyên tử chỉ bộc lộ cái bẩm sinh. Một bà tiên đã ban cho chúng, ngay từ lúc mới sinh, những thuộc tính riêng mà chúng

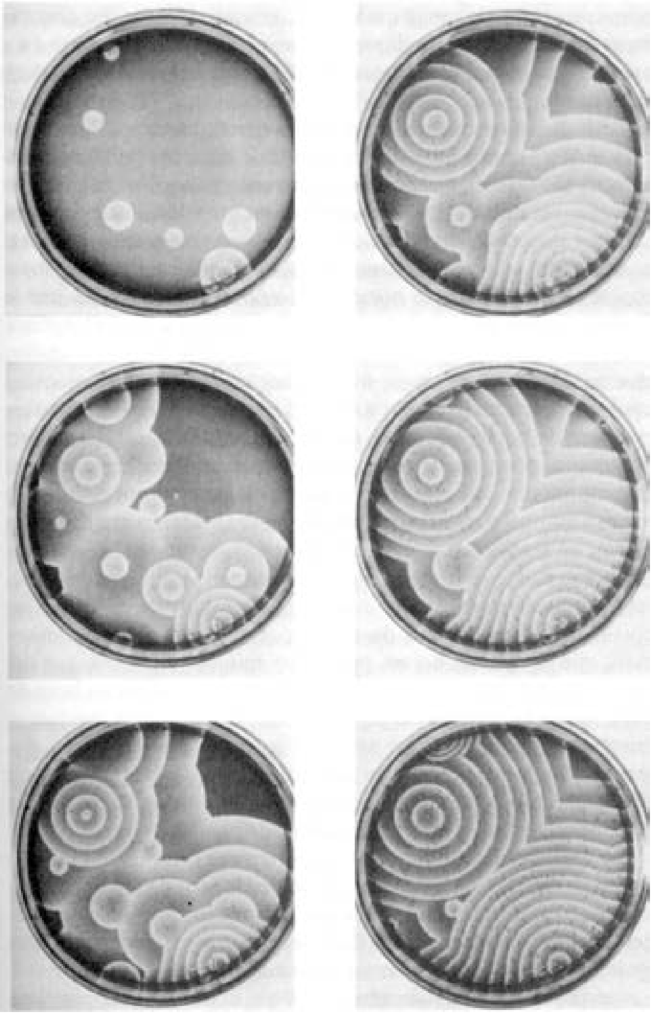
phải giữ gìn trong suốt cả cuộc đời. Trái lại, các sinh vật là một sự pha trộn của cái bẩm sinh và cái thu nhận được. Ngoài những thuộc tính di truyền, có được ngay từ lúc mới sinh, sinh vật còn có thêm những đặc tính do kết quả của sự tương tác giữa chúng với môi trường xung quanh. Nếu hành trạng của hai anh em sinh đôi giống nhau, nhưng lại không hoàn toàn như một, thì chính là vì quãng đời mà mỗi người trải qua, rồi bạn bè, tình yêu, thầy cô giáo... của họ khác nhau. Sự sống trên Trái đất chỉ có thể tồn tại, bởi vì nó được hòa nhập vào một mạng lưới phức tạp có tên là "sinh thái quyển", được tạo nên bởi vô vàn những cơ thể sống phụ thuộc lẫn nhau, và tất cả đều cùng tồn tại trong một trạng thái cân bằng động. Trái với các hệ thống vô sinh đều có thể "khép kín", có nghĩa là hoàn toàn cắt đứt với môi trường xung quanh, các cơ thể sống là những "hệ mở" tương tác liên tục với môi trường bằng sự trao đổi không ngừng, chủ yếu là về năng lượng và vật chất. Sở dĩ phải có sự trao đổi này là vì một cơ thể sống không ở trong trạng thái cân bằng nhiệt động học với môi trường xung quanh. Chẳng hạn, nhiệt độ của nó không giống như nhiệt độ của không khí xung quanh. Trạng thái không cân bằng này với môi trường là rất căn bản đối với sự sống. Nó cho phép Tự nhiên đạt tới những cấu trúc có tổ chức hơn và vươn tới một độ phức tạp mới, cao hơn. Nó cũng cho phép tạo ra trật tự từ hỗn độn, tạo ra sự phong phú, đa dạng từ những cái đơn giản.

Máy giữ nhịp hóa học

Cân bằng đồng nghĩa với không cấu trúc và cằn cỗi, trong khi không cân bằng hàm chứa sự tổ chức và sáng tạo. Điều này chúng ta quan sát thấy hằng ngày mỗi khi đun nước sôi để pha trà buổi sáng. Nước ở gần đáy siêu được đun nóng và có khối lượng riêng

nhỏ hơn, nên có xu hướng nổi lên trên. Chừng nào mà hệ còn gần như ở trạng thái cân bằng, tức là khi sự chênh lệch nhiệt độ giữa phần nước ở trên và ở dưới còn nhỏ, thì không có chuyện gì xảy ra. Độ nhớt của nước chống lại mọi chuyển động. Nhưng ngay khi sự chênh lệch về nhiệt độ vượt quá ngưỡng tới hạn thì các cấu trúc xuất hiện. Nước không còn thụ động nữa, các ô đối lưu xuất hiện, chúng được tổ chức thành một làn sóng có trật tự và bền vững. Nước thoạt đầu đồng tính và không có cấu trúc, giờ được tổ chức lại, bởi vì khi đun nó, chúng ta đã làm cho nước ra khỏi trạng thái cân bằng. Nhưng các ô đối lưu chỉ tồn tại khi nhiệt độ không cao quá. Nếu nhiệt độ tiếp tục tăng nữa thì sóng có trật tự trở thành hỗn độn.

Hiện tượng tự tổ chức của một hệ thống trong trạng thái mất cân bằng không chỉ đặc trưng cho nước sôi. Nó cũng được nhà hóa học Bỉ gốc Nga Ilya Prigogine (1917-2003) quan sát thấy trong một phản ứng hóa học có tên là phản ứng Belosov-Jabotinski (tên của hai nhà khoa học Nga, những người đầu tiên nghiên cứu phản ứng này). Phản ứng hóa học này diễn ra trong hỗn hợp của xeri sunfat, axit malonic và kali brômat tan trong axit sunfuric. Để nghiên cứu nó, người ta đã sử dụng các chất màu nhằm đánh dấu từng ion (ion là một nguyên tử đã mất đi hoặc nhận thêm một hoặc nhiều electron). Chẳng hạn màu xanh chỉ các ion axit, màu đỏ chỉ các ion kiềm (kiềm là các chất trung hòa axit khi được trộn lẫn với chúng). Một chiếc bơm được sử dụng để bơm các nguyên tố hóa học vào hỗn hợp. Chừng nào tốc độ bơm vào còn nhỏ, hệ thống vẫn gần với trạng thái cân bằng và không có chuyện gì đặc biệt xảy ra, tất cả các màu vẫn trộn với nhau. Nhưng khi tốc độ bơm vào vượt quá một giá trị tới hạn thì hệ thống hóa học chuyển sang trạng thái mất cân bằng và một cảnh tượng bất ngờ diễn ra:



Hình 55. *Một hệ hóa học biết tự tổ chức.* Hệ hóa học này có tên là "hệ Belossov-Jabotinski". Nhờ tốc độ bơm cao, hệ được đưa ra khỏi trạng thái cân bằng và trở nên hỗn độn, nhưng nó cũng có thể tự tổ chức một cách tự phát thành những cấu trúc như được minh họa trên hình. Những sóng hình tròn đồng tâm được truyền từ các tâm ra phía ngoài. Như vậy, trạng thái không cân bằng có thể sinh ra trật tự từ vô trật tự.

toàn bộ hỗn hợp đột nhiên chuyển thành màu đỏ. Hai phút sau màu của hỗn hợp lại hoàn toàn chuyển qua xanh. Hai phút sau nữa lại quay lại màu đỏ và cứ như thế mãi. Sự thay đổi màu sắc diễn ra một cách tuần hoàn và đều đặn như một máy gõ nhịp vậy. Người ta còn gọi hệ thống này là “đồng hồ hóa học”.

Mạch động nhịp nhàng này là hết sức kỳ lạ, nếu ta nhớ rằng trong hỗn hợp hóa học đó có tới 100.000 tỷ tỷ (10^{23}) hạt. Hoạt động phối hợp của chúng cũng tương tự như tình huống sau. Chúng ta chắc ai cũng đã từng xem việc quay xổ số trực tiếp trên màn hình nhỏ. Những quả cầu nhỏ có ghi số được đặt trong một cái bình và một cơ cấu liên tục khuấy đảo những quả cầu đó. Người quay số lấy ngẫu nhiên từ trong bình ra một quả cầu bất kỳ, và đó là con số đầu tiên của số trúng giải. Các quả cầu lại được đảo tiếp, rồi một quả cầu mới lại được nhặt ra xác định con số thứ hai, và cứ tiếp tục như thế. Bây giờ hãy tưởng tượng rằng chúng ta đem thay các quả cầu được đánh số đó bằng 50.000 tỷ tỷ viên bi đen và cũng ngần ấy viên bi trắng. Rồi chúng ta lắc mạnh chúng trong bình. Trong hầu hết khoảng thời gian đó ta chỉ thấy một màu ghi xám, bởi vì tính trung bình, ta nhìn thấy bao nhiêu quả bóng màu đen thì cũng nhìn thấy bấy nhiêu quả màu trắng. Thi thoảng ta cũng thấy nhiều quả trắng hơn là quả đen, và ngược lại, nhưng sự thăng giáng có tính chất thống kê này chỉ xảy ra một cách ngẫu nhiên. Để quan sát được hiện tượng tương đương với các mạch động nhịp nhàng giữa màu đỏ và màu xanh như trong hỗn hợp hóa học nói đến ở trên, ở đây chúng ta phải đột nhiên chỉ quan sát thấy những viên bi đen, rồi hai phút sau chỉ thấy các viên bi trắng, rồi sau đó hai phút nữa lại chỉ thấy các viên bi đen, và cứ như thế mãi. Chúng ta ắt hẳn sẽ rất sửng sốt và kinh ngạc! Tuy nhiên, điều đó chỉ xảy ra với các hệ hóa học “mở” ở trạng thái không cân bằng: chúng có khả năng tự

tổ chức và tạo ra trật tự từ hỗn độn, trong khi các hệ hóa học "khép kín" ở trạng thái cân bằng không thể có được.

Người ta đã thử giải thích hoạt động nhịp nhàng này của đồng hồ hóa học bằng những thay đổi diễn ra một cách tuần hoàn, với một tần số được xác định bởi nồng độ tương ứng của các nguyên tố khác nhau trong hỗn hợp. Những thay đổi tuần hoàn này được gây ra bởi một hiện tượng có tên là "tự xúc tác". Chất xúc tác là những chất có tác dụng làm gia tăng tốc độ các phản ứng hóa học, và sự tự xúc tác xảy ra nếu sự có mặt của một chất sẽ sinh ra thêm chính chất đó. Ở đây một câu hỏi mới lại được đặt ra: lực tác dụng giữa các phân tử cá thể chỉ trên một khoảng cách cỡ một phần mười triệu xentimét, trong khi đó mạch động nhịp nhàng lại diễn ra trên những quy mô lớn hơn nhiều xentimét. Lại một lần nữa chúng ta nhận thấy rằng tỷ tỷ nguyên tử hiện diện trong hỗn hợp hóa học có một hành trạng mang tính tổng thể, chúng cùng đi theo một kế hoạch chung. Đồng hồ hóa học lại là một ví dụ khác về sự phá vỡ đối xứng tự phát của Tự nhiên nhằm tiến tới sự phức tạp. Trạng thái ban đầu không có tổ chức là đối xứng đối với thời gian; sự đối xứng bị phá vỡ khi những dao động bắt đầu, bởi vì các trạng thái tiếp sau không còn bất biến đối với thời gian nữa.

Tính có tổ chức của phản ứng hóa học Belossov-Jabotinski không chỉ được thực hiện trong thời gian mà cả trong không gian nữa (H. 55). Có hai loại cấu trúc không gian khác thường xuất hiện ở đây: hoặc là các sóng hình tròn đồng tâm phát từ một nguồn ở tâm ra phía ngoài, hoặc là những cấu trúc xoáy trôn ốc quay giống như những bánh xe xung quanh một tâm. Trong trường hợp nước sôi, cũng như trong trường hợp hỗn hợp hóa học, khi hệ thống bị đẩy vượt qua ngưỡng tới hạn, nó có thể thoát ra khỏi trạng thái cân bằng để phân nhánh hướng tới một trạng thái tự tổ chức có

cấu trúc cao. Ilya Prigogine gọi loại hỗn hợp hóa học này là một "hệ thống hao tán", bởi vì nó phải tiêu hao năng lượng để duy trì những cấu trúc đang phát triển. Hệ thống này cũng có thể phân nhánh để đi tới một trạng thái hoàn toàn hỗn độn. Thực vậy, nếu tốc độ bơm tiếp tục tăng, hoạt động nhịp nhàng của đồng hồ hóa học sẽ nhường chỗ cho các dao động ngày càng phức tạp, rồi trở thành hỗn độn hoàn toàn, hiện tượng mà chúng ta đã đề cập đến khá dài ở Chương III. Chúng ta không thể xác định được trước hệ sẽ đi theo nhánh nào trong hai nhánh nói ở trên. Cứ như là vật chất vô sinh có ý chí riêng của nó vậy.

Bí mật của các hình thái

Nếu sự hiểu biết về đặc tính tổng thể của vật chất vô sinh, về khả năng tự tổ chức của nó trong một hệ thống mở và ở trạng thái trạng không cân bằng mới chỉ là bước đầu, thì vật chất sống còn đặt ra một vấn đề khác ghê gớm hơn. Đó là làm thế nào một tập hợp những phân tử vốn chỉ cảm nhận được hành động của những phân tử gần kề, lại có thể biết tự tổ chức để tạo thành một cơ thể sống, có khả năng liên kết trên những khoảng cách lớn hơn rất nhiều so với khoảng cách giữa các phân tử? Các protein là những chuỗi dài, chúng phải vặn vẹo một cách cực kỳ phức tạp để tạo ra hình dạng ba chiều cần thiết để thực hiện được những nhiệm vụ của chúng. Làm sao mà các phần hoàn toàn khác nhau của phân tử lớn này lại biết cách phối hợp hoạt động với nhau để tạo ra được một hình dáng mong muốn? Làm thế nào một bào thai có thể phát triển từ một tế bào duy nhất được thụ tinh thành một cơ thể sống cực kỳ phức tạp, trong đó mỗi bộ phận đều có chức năng riêng? Đây là vấn đề phân hóa của tế bào. Làm thế nào một số tế bào của bào thai lại biết được rằng chúng phải trở thành tế bào máu, trong khi các tế

bào khác phải trở thành tế bào xương? Tiếp đó lại đặt ra vấn đề về vị trí không gian: làm sao một tế bào có thể biết được nó phải đứng ở vị trí nào trong mối quan hệ với các bộ phận khác của cơ thể để dẫn dắt chuyển động của nó? Làm thế nào mà các tế bào của tai biết rằng chúng phải đi lên phía mặt chứ không phải đi vào dạ dày? Làm sao một sự phối hợp tỉ mỉ và chính xác đến thế lại có thể được thực hiện đồng thời trong không gian và thời gian? Đây là bí mật lớn trong việc tạo ra các hình dáng (hay còn gọi là sự phát sinh hình thái) bắt đầu từ trạng thái bào thai.

Một lần nữa chúng ta lại buộc phải gợi nhớ đến một "kế hoạch lớn" dẫn dắt hoạt động của các tế bào cá thể hướng tới mục đích cuối cùng trong quá trình phát triển từ bào thai đến cơ thể hoàn chỉnh. Ngay cả nhà sinh hóa người Pháp Jacques Monod (1910-1976), người chưa hề bị buộc tội là theo tổng thể luận, mà thậm chí còn bảo vệ quy giản luận một cách quyết liệt, cũng đã nói: "Một trong những thuộc tính cơ bản đặc trưng cho tất cả cơ thể sống, không trừ một cơ thể nào, là chúng đều được trao một dự định, một kế hoạch mà chúng vừa thể hiện trong các cấu trúc vừa thực hiện bằng những hiệu năng của mình... Thay vì chối bỏ quan niệm đó (như một số nhà sinh học định làm), chúng ta nhất thiết phải thừa nhận nó như một thuộc tính căn bản đối với chính định nghĩa các cơ thể sống. Chúng ta nói rằng các cơ thể sống phân biệt với tất cả các cấu trúc khác của toàn bộ các hệ thống hiện hữu trong Vũ trụ bởi thuộc tính này, thuộc tính mà chúng tôi gọi là "tính cứu cánh luận"[1] (*teleonomy*).

Ấn tượng này về một kế hoạch tổng thể và tính mục đích còn được củng cố thêm khi chúng ta nhận thấy khả năng kỳ lạ của một

---

1. Jacques Monod, *Le Harsard et la Nécessité*, Seuil, Paris, 1970, trang 22.

số cơ thể sống có thể tự hình thành một cách trọn vẹn, ngay cả khi bào thai bị khuyết tật trong thời kỳ đang phát triển. Một quá trình được gọi là "điều tiết" thay thế các tế bào khuyết bằng những tế bào mới, hoặc điều chỉnh lại những tế bào đặt sai vị trí vào "đúng" chỗ của nó. Kỳ lạ hơn nữa là khi ta thấy rằng các cơ thể sống đã phát triển vẫn có thể tự tái tạo lại sau khi đã bị cắt cụt. Chúng ta ai mà chẳng từng ngạc nhiên khi thấy một con giun đất bị chặt làm đôi đã trở thành hai con. Con kỳ nhông có thể sinh ra cả một chi mới hoàn chỉnh thay thế cho chi đã bị cắt cụt. Trường hợp đáng ngạc nhiên hơn cả là trường hợp con thủy tức (*hydre*), một động vật nhỏ bé sống trong nước ngọt có 6-10 vòi. Nó có thể tự phân ra thành hai hay ba mảnh, mỗi mảnh đều trở thành một động vật hoàn chỉnh! Chưa hết, nếu bạn chặt nó ra thành nhiều mảnh thì các mảnh này tự nó có thể chắp lại với nhau để tái tạo lại nguyên hình trước đó của nó!

Đà sống

Nhưng làm sao có thể giải thích được rằng các cơ thể sống dường như "vốn được trao cho một dự định hay một kế hoạch lớn", rằng chúng đều có một phẩm chất mang tính mục đích luận nếu nói theo Aristoteles hay mang tính cứu cánh luận nếu nói theo Monod? Việc nói về "mục đích cuối cùng" hay về "dự định lớn" đều bị nhiều nhà khoa học lên án. Không phải là không có lý do: khoa học hiện đại đã sinh ra và lớn lên là nhờ sự bác bỏ một cách có hệ thống sự giải thích các hiện tượng tự nhiên theo những thuật ngữ đó. Nói như Bernardin de Saint Pierre (1737-1814) rằng "Chúa đã chia quả bí ngô thành từng múi, bởi vì nó được sinh ra là để cho cả gia đình được ăn", thì không thể làm cho tri thức về

quả bí ngô của chúng ta tiến lên được. Tuy nhiên, đối với những gì có liên quan đến cơ thể sống thì người ta không thể phủ nhận được. Monod cũng đặt ra vấn đề: "Tính khách quan buộc chúng ta phải thừa nhận đặc tính "cứu cánh luận" của các cơ thể sống, phải chấp nhận rằng trong các cấu trúc và hiệu năng của mình, chúng đang thực hiện và tiếp tục thực hiện một dự định, một kế hoạch. Như vậy, ít ra là nhìn bề ngoài, ở đây có một mâu thuẫn sâu sắc về nhận thức luận. Chính mâu thuẫn này đang là vấn đề trung tâm của sinh học mà chúng ta phải giải quyết, hoặc chứng minh dứt khoát là không thể giải quyết được, nếu sự thật đúng là như thế"[1].

Để giải quyết "mâu thuẫn sâu sắc về nhận thức luận" này, một số người đã áp dụng quan điểm cho rằng các cơ thể sống tạo thành một đẳng cấp riêng, rằng chúng bị chi phối bởi các quy luật khác với các quy luật chi phối vật vô sinh. Những quy luật này có một yếu tố phụ thêm mà các quy luật thông thường không có. Trong các lý thuyết có tên chung là "thuyết sức sống", thành phần phụ này có dạng mà Henri Bergson, một triết gia Pháp (1859-1941), gọi là "cái đà sống"[2]. Cái đà này trao cho vật chất sống những thuộc tính riêng, cho phép chúng tự tổ chức và tiến hóa một cách hài hòa và sáng tạo[3]. Một "dòng sự sống" đấu tranh với vật chất vô sinh để buộc nó phải tổ chức lại. Ngày nay các ý tưởng mang tính "sức sống luận" không còn được hoan nghênh như trước nữa. Chúng không được coi là nghiêm túc vì thiếu những bằng chứng thực nghiệm.

---

1. Xem Chú thích số 3
2. Henry Bergson, *L'évolution créatrice*, A. Skira. Genève, 1945
3. Cần phải nhấn mạnh rằng Bergson bác bỏ ý tưởng về mục đích cuối cùng, về một dự định được xác định trước, vì đối với ông, một khái niệm như vậy chẳng qua chỉ là một dạng khác của quyết định luận, bị đảo ngược theo thời gian mà thôi.

Làm thế nào cái cục bộ có thể ảnh hưởng tới cái toàn thể?

Đã có nhiều ý tưởng được đưa ra để giải thích bí mật của sự phát sinh hình thái. Có ý tưởng cho rằng nếu quả thật có một "kế hoạch", thì kế hoạch này phải được lưu trữ ở đâu đó trong các phân tử ADN của trứng được thụ tinh. Nhưng vì các ADN là như nhau trong mỗi bộ phận của cơ thể sống, vậy thì mỗi phân tử ADN làm thế nào lựa chọn được bộ phận liên quan đến nó trong kế hoạch tổng thể để thực hiện? Vậy là cần phải viện một loại "siêu kế hoạch" có chứa các điều chỉ dẫn này. Nhưng nếu đúng là như vậy, thì cái "siêu kế hoạch" đó nằm ở đâu? Loại lý luận như vậy sẽ nhanh chóng đưa chúng ta đi đến một sự thụt lùi vô tận. Lý thuyết về sự phát sinh hình thái hiện đang được ủng hộ nhất, là lý thuyết các gen "được kích hoạt". Thuyết này cho rằng có một số gen đặc biệt có chức năng điều chỉnh hành trạng của các gen khác. Chúng thường án binh bất động, nhưng tới thời điểm mong muốn, chúng sẽ "tỉnh dậy" và đi vào hoạt động để đưa ra những chỉ dẫn cho các gen khác. Các gen riêng biệt này đã được nghiên cứu ở loài ruồi, nhưng hình như chúng cũng tồn tại ở các sinh vật khác, kể cả ở người. Song nếu sự phát hiện ra các gen này có giải thích được cơ chế của sự phát sinh hình thái đi nữa, thì nó vẫn chưa giải thích được vì sao các gen ở quy mô phân tử lại có thể phối hợp hành động ở quy mô một cơ thể vĩ mô; hay nói cách khác các hành động cục bộ làm sao tạo ảnh hưởng đến quy mô toàn thể được?

Trong những cuộc ngao du qua thế giới vô sinh, chúng ta đã nhiều lần bắt gặp những trường hợp, trong đó những tương tác cục bộ lại có thể sinh ra một tổ chức có tính tổng thể. Chúng ta hãy nhớ lại trường hợp nước đun sôi hay trường hợp của hỗn hợp hóa chất, tựa như một chiếc đồng hồ, nó tạo ra các nhịp đập rất đều đặn. Một

hệ thống mở trong trạng thái không cân bằng có thể phân nhánh đi từ một trạng thái không có cấu trúc thành một trạng thái được tổ chức ở trình độ cao. Liệu hệ thống các tế bào sống trong bào thai có thể lao vào một chuỗi liên tiếp những phân nhánh để đi tới một tổ chức và sự phức tạp hóa? Rất có thể là không, bởi vì có những khác biệt rất căn bản giữa các tế bào sống với các ô đối lưu vô sinh trong nước chẳng hạn. Các ô này hiện hữu trong nước sôi, chúng tự động tổ chức lại một cách tự phát mà không theo một kế hoạch chung nào. Chúng cũng không cần đến những chỉ dẫn như các lệnh của mã di truyền. Mặt khác, hình dáng và đặc tính của các ô đối lưu trong nước sôi, đều hoàn toàn không thể tiên đoán được và luôn luôn biến đổi, trong khi đó hình dạng của các cơ thể sống đều ổn định và bất biến. Xuất phát từ một cấu hình đã cho của phân tử ADN, hình dáng cuối cùng của cơ thể do phân tử đó sinh ra là hoàn toàn xác định và chính xác.

Một ý tưởng khác mà chúng ta đã gặp trong thế giới các hạt nhằm liên kết cái cục bộ với cái toàn thể là ý tưởng về "trường". Điện trường không định xứ ở chỗ của các hạt, mà nó lan rộng ra xa hơn nhiều. Vậy liệu có tồn tại một "trường phát sinh hình thái" trong các cơ thể sống, hoàn toàn giống như đã có một trường điện từ trong các phân tử? Trường này tỏa rộng trong toàn bộ cơ thể và cho các tế bào cá thể những chỉ dẫn để dẫn dắt sự chuyển động của chúng. Nhưng ở đây cũng xuất hiện một khó khăn: vì mã di truyền coi như được định vị trong các phân tử ADN, vậy thì làm thế nào các phân tử này có thể truyền được cho trường những chỉ dẫn mà chúng mang, và làm thế nào chúng tạo được sự hài hòa giữa những hành trạng cục bộ của chúng ở thang của một trường tổng thể? Tuy nhiên, đó chưa phải là khó khăn duy nhất, còn nhiều vấn đề khác được đặt ra, chẳng hạn như: làm thế nào các phân tử ADN hoàn

toàn đồng nhất trong một cơ thể lại có thể truyền những chỉ dẫn khác nhau cho trường tùy theo vị trí của chúng? Những chỉ dẫn này phải mỗi nơi một khác, để cho phép có sự phân bào. Nếu chúng ta giả sử rằng các phân tử ADN nói cho trường biết nó phải có dạng như thế nào, và đến lượt mình, trường lại nói với phân tử ADN phải hành xử như thế nào, thì lập luận sẽ sa vào vòng luẩn quẩn, và chúng ta sẽ chẳng tiến thêm được bước nào nữa.

Có một cách để thoát ra khỏi vòng luẩn quẩn đó là thừa nhận rằng trường đã chứa đựng sẵn trong lòng nó các chỉ dẫn cần thiết cho sự phát sinh hình thái mà không cần qua các phân tử ADN. Trong trường hợp đó, các phân tử sẵn sàng nhận các chỉ dẫn mà không cần cho lại. Ý tưởng này đã được nhà sinh học Anh Rupert Sheldrake phát triển. Ông cho rằng trường đã có sẵn những thông tin về hình dáng mà bào thai sẽ phải nhận, và sử dụng những thông tin ấy để hướng dẫn sự phát triển của bào thai đó. Nhưng ngoài ra, ông còn đưa thêm vào ý tưởng "cộng hưởng hình thái" dựa trên giả thuyết rằng trường có một bộ nhớ. Một khi Tự nhiên đã "học" được cách phát triển một hình thái, nó sẽ ghi nhớ để dẫn dắt bằng "cộng hưởng" sự phát triển của các cơ thể khác; chẳng hạn nếu một con chó học được cách hoàn thành một nhiệm vụ mới, thì bộ nhớ của trường phát sinh hình thái sẽ giúp cho các con chó khác học được việc đó dàng dễ hơn. Vật chất vô sinh cũng không phải là ngoại lệ: Sheldrake đã nêu ra trường hợp của các chất chưa bao giờ được thấy dưới dạng tinh thể, nhưng đột nhiên chúng quyết định biến thành tinh thể cùng một lúc và ở những nơi cách biệt về mặt địa lý. Trường phát sinh hình thái không hoạt động theo quan hệ nhân quả trong không gian và thời gian, theo các định luật thông thường của vật lý. Do nó phải viện đến những định luật vật lý mới còn chưa được khám phá, và do chưa có những bằng chứng thực

nghiệm có sức thuyết phục, nên lý thuyết của Sheldrake thường chỉ được coi là đề xuất bước đầu và chưa được chính thức thừa nhận.

Cơ học lượng tử và sự sống

Cơ học lượng tử là một lĩnh vực khác mà chúng ta đã khám phá và ở đó chúng ta đã buộc phải từ bỏ ý tưởng về một thực tại cục bộ. "Thí nghiệm EPR" cho thấy rằng tất cả các hạt trong Vũ trụ đều có sự liên lạc bí mật với nhau và chúng đều là một bộ phận của cùng một thực tại tổng thể. Vậy thì liệu tính không định xứ của cơ học lượng tử có giúp chúng ta khám phá được bí mật của sự phát sinh hình thái không? Cho dù các cơ thể sống có là những thực thể vĩ mô đi nữa, chúng vẫn được làm bằng các phân tử ADN, mà các phân tử này vốn đều chịu sự chi phối của các quy luật của cơ học lượng tử. Nhà vật lý Erwin Schrodinger (tác giả của hàm sóng) đã từng chứng tỏ rằng cơ học lượng tử là lý thuyết chủ yếu giúp ta hiểu được tính bền vững của mã di truyền trong các phân tử ADN[1].

Nhưng có một hố sâu ngăn cách giữa việc sử dụng cơ học lượng tử để nghiên cứu các hạt cơ bản và việc dùng nó để nghiên cứu các cơ thể sống. Niels Bohr đã từng nhấn mạnh điều đó một cách đúng đắn rằng không thể xác định trạng thái lượng tử của một tế bào sống mà không giết chết nó. Sở dĩ như vậy là do lý thuyết lượng tử trao cho người quan sát một vai trò hàng đầu. Chính người quan sát đã tạo ra thực tại bằng sự quan sát. Muốn quan sát một tế bào sống thì phải tương tác với nó, mà điều này sẽ làm nhiễu loạn nó và gây tổn thương đến các cơ chế phân tử cần thiết cho việc duy trì

1. Erwin Schrodinger, *Qu'est-ce que la vie?,* Christian Bourgeois, Paris 1986.

sự sống. Mặt khác, cơ học lượng tử có đặc tính thống kê, mà điều này thì không phù hợp với các cơ thể sống. Cơ học lượng tử mô tả thực tại thông qua các xác suất; điều đó nghĩa là nó chỉ có thể được kiểm chứng bằng quan sát hành trạng của nhiều hệ thống hoàn toàn đồng nhất. Giả dụ bạn muốn xác định xác suất để một đồng xu được tung lên và rơi xuống là sấp hay ngửa. Bạn không thể nói trước được trong lần tung tiếp sau nó sẽ là mặt nào, mà chỉ có thể nói được rằng có 50% cơ may là ngửa và 50% cơ may là sấp. Nhưng để kiểm chứng điều đó, bạn phải tung đồng xu nhiều lần. Cũng như thế, cơ học lượng tử đòi hỏi sự quan sát một tập hợp các thực thể không khác nhau một ly nào. Điều này không đặt ra vấn đề gì đối với các hạt cơ bản cùng loại, vì chúng vốn giống hệt nhau. Nhưng với các cơ thể sống thì lại là chuyện khác. Các cơ thể này, như chúng ta đã biết, được đặc trưng bởi tính đặc thù của chúng. Không có một cơ thể sống nào giống hệt một cơ thể sống khác. Do vậy mà cơ học lượng tử không thể áp dụng nguyên vẹn vào việc nghiên cứu các hiện tượng của sự sống được.

Để làm điều đó, rất có thể phải cần đến những nguyên lý mới riêng cho sinh học, bổ sung cho các quy luật của cơ học lượng tử, nhưng không được mâu thuẫn với chúng. Đó chính là quan điểm của những nhà sáng lập chủ chốt của lý thuyết lượng tử. Niels Bohr nói rằng: cũng như sự mô tả electron như một hạt sẽ bổ sung cho sự mô tả nó như một sóng, các quy luật sinh học bổ sung cho các quy luật vật lý trong việc mô tả Tự nhiên. Sự tồn tại của các quy luật mới trong sinh học cũng không bị Schrodinger loại trừ. Ông viết: "Tất cả những gì chúng ta biết được về vật chất sống đều nói lên việc chúng ta phải sẵn sàng chấp nhận rằng sự hoạt động của nó không thể quy về các định luật thông thường của vật lý được". Mới đây nhà vật lý Walter Elsasser đã đưa ra ý tưởng về các "quy

luật sinh học", mà theo ông, các quy luật này tác động một cách tổng thể lên các cơ thể sống và có một cấu trúc lôgíc hoàn toàn khác với những cấu trúc quen thuộc. Các quy luật này bổ sung cho các định luật vật lý thông thường, nhưng không thể được suy ra từ những định luật đó. Tất cả các ý tưởng này còn cần phải được chứng minh.

Như vậy, vấn đề mà chúng ta đặt ra ngay từ khi bắt đầu đi vào thế giới của sự sống vẫn chưa có câu trả lời. Chúng ta chưa biết các tế bào sống đã phát triển như thế nào từ các bào thai chưa có hình thù, để đi đến sự phức tạp, phong phú muôn màu muôn vẻ của các dạng sống xung quanh ta. "Mâu thuẫn sâu sắc về nhận thức luận" của Jacques Monod vẫn còn đó đối với chúng ta. Mặc dầu vậy, một kết luận đã rõ ràng: các cơ thể sống không thể được giải thích theo kiểu quy giản luận, tức là quy chúng về tập hợp các hạt tương tác một cách cục bộ với nhau. Cần phải có một nguyên tắc tổ chức mang tính tổng thể, tác động ở quy mô toàn thể của cả sinh vật.

Tia lửa của sự sống

Các quá trình dẫn dắt sự phát triển của các hình thái sinh học vẫn còn giữ kín những bí mật của chúng. Nhưng bí mật lớn nhất trong sinh học, không còn nghi ngờ gì nữa, chính là nguồn gốc của sự sống. Làm sao vật chất vô sinh lại có thể sản sinh ra vật chất sống được? Làm sao tia lửa của sự sống lại có thể lóe ra từ một tập hợp những nguyên tử và phân tử trơ ì? Một khi sự sống đã được khởi phát, người ta có thể hình dung ra những cơ chế làm cho nó phát triển và sinh sôi, nhưng tế bào đầu tiên của sự sống đã xuất hiện như thế nào?

Chúng ta đã biết rằng sự sống được tạo ra do sự kết hợp hài hòa

giữa các axit nucleic như ADN và các protein. Bởi vì hai chất đó đi đôi với nhau và có những vai trò bổ sung cho nhau, nên hai tác nhân này của vật chất sống phải cùng nhau vào cuộc thì sự sống mới xuất hiện được. Tấn kịch của sự sống sẽ không thể có nếu thiếu vắng một trong hai tác nhân đó. Các axit nucleic, như chúng ta đã thấy, mang mã di truyền, nhưng chúng lại quá ngu ngơ về hóa học nên không thể tự mình làm ra bất kỳ điều gì, trong khi đó các protein lại lo toan mọi công việc về hóa học nhờ có khả năng xúc tác tuyệt vời của chúng. Nhưng bản thân các protein lại được lắp ghép nhờ những chỉ dẫn do các axit nucleic mang tới. Ở đây chúng ta lại phải đối mặt với một vấn đề quá xưa cũ, đó là vấn đề quả trứng và con gà: con gà sinh ra trước hay quả trứng? Nếu axit nucleic có trước, thì do chúng bất lực về mặt hóa học, nên sự sống không thể khởi phát được; còn nếu các protein có trước, thì làm sao chúng lắp ghép được với nhau, nếu không có mã di truyền của ADN?

Các nhà khoa học chuyên nghiên cứu vấn đề này chia rẽ thành hai phái.

Phái thứ nhất cho rằng các axit nucleic có trước. Một cấu trúc có khả năng lưu giữ các chỉ dẫn di truyền và tự sao chép sẽ là thứ xuất hiện đầu tiên. Cái gen nguyên thủy đó không nhất thiết phải là ADN. Nó có thể có dạng ARN: trái với ADN, nó không bị bất lực về mặt hóa học và có thể tự nhân đôi không cần đến sự hỗ trợ của các protein tác động như những enzym xúc tác. ADN chỉ xuất hiện sau này trong lịch sử tiến hóa sinh học. Để kiểm nghiệm kịch bản này, nhiều thí nghiệm đã được tiến hành bởi nhà sinh học Mỹ Leslie Orgen nhằm làm cho ARN tự nhân đôi không cần có sự hỗ trợ của protein, song cho đến nay vẫn chưa có kết quả. Nhà sinh học Đức Manfred Eigen lại cho rằng ARN có thể tự động được tạo

thành từ các chất hữu cơ phức tạp sau một loạt những chu trình hóa học lệ thuộc lẫn nhau và tạo ra thứ bậc, cái nọ củng cố cho cái kia, được gọi là những "siêu chu trình". Các ý tưởng trên đã được triển khai bởi những thí nghiệm tiến hành trên các ARN của vi rút (vi rút là những cơ thể sống sơ đẳng nhất, nó chỉ có một loại axit nucleic), và ngoài ra còn dựa trên những mô hình toán học rất phức tạp.

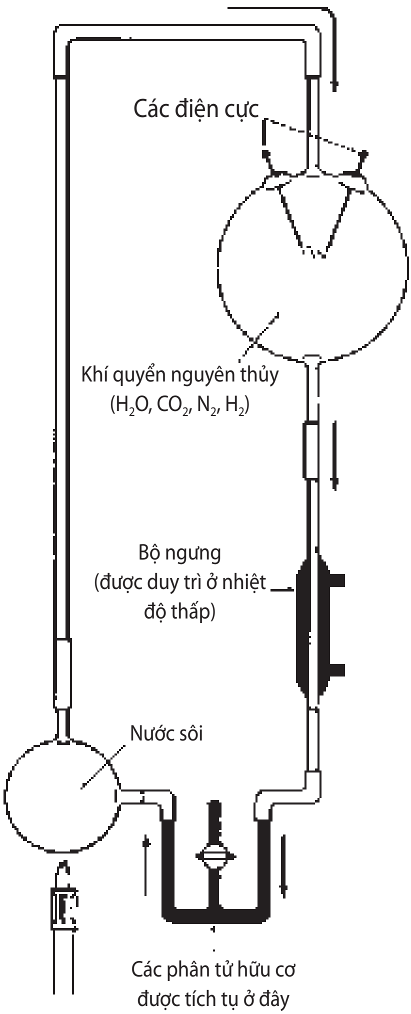
Phái thứ hai, ngược lại, cho rằng chính protein mới là thứ xuất hiện đầu tiên. Quan điểm này dựa trên những thí nghiệm của nhà sinh học Mỹ Sidney Fox. Ông đã chứng minh rằng một hỗn hợp các axit amin được làm nóng tới một nhiệt độ cao có thể cho ra đời các phân tử giống protein một cách đáng kinh ngạc, mà ông gọi là "proteinoit". Mặc dù các chất này không thấy có mặt ở các cơ thể sống, nhưng chúng có thể hợp thành các hình cầu nhỏ li ti, gợi cho ta nhớ tới hình thù của các tế bào sống. Nhà sinh học Anh Graham Cairns-Smith lại nghĩ rằng sự sống không xuất hiện từ các chất hữu cơ làm bằng cacbon, mà từ chất đất sét. Ý tưởng này đến với ông là do một số tinh thể đất sét có thể tự sao chép một cách gần đúng. Theo thời gian, các sinh vật đất sét đầu tiên được phức tạp hóa thêm lên và chúng bắt đầu tương tác về mặt hóa học với các chất hữu cơ. Các chất này có lẽ đã dần dần thay thế trong các chức năng sao chép, và nguồn gốc đất sét của sự sống vì vậy đã bị lu mờ đi.

Món súp nguyên thủy của Trái đất

Như vậy là chúng ta vẫn chưa biết quả trứng hay con gà cái nào có trước. Nhưng liệu chúng ta có thể tái tạo trong phòng thí nghiệm những điều kiện vật lý đã từng tồn tại cách đây 3,5 tỷ năm, khi những cơ thể sống đầu tiên xuất hiện trên Trái đất,

và xem chúng ta có thể làm cho tia lửa của sự sống xuất hiện từ các nguyên tử vô sinh hay không? Năm 1952, trong một thí nghiệm đến nay vẫn còn nổi tiếng, hai nhà hóa học Mỹ là Stanley Miller và Harold Urey đã cố thử tái tạo trong ống nghiệm bầu khí quyển nguyên sơ của Trái đất bằng cách pha trộn hyđrô, mêtan và amoniac (các khí này ngày nay là thành phần chủ yếu của khí quyển của các hành tinh khổng lồ, như Mộc tinh chẳng hạn) với nước sôi. Sau đó, các ông cho phóng điện vào hỗn hợp khí đó, tạo hiệu ứng giống như những cơn giông bão lớn đã từng gầm thét trên Trái đất non trẻ ở thời kỳ đó. Sau một tuần lễ, một chất lỏng màu đỏ quạch đã xuất hiện, chứa đựng những chất hữu cơ thiết yếu đối với sự sống, đặc biệt là có nhiều axit amin (H. 56). Các nhà khoa học hiện nay cho rằng khí quyển nguyên sơ của Trái đất đúng hơn là gồm khí cacbonic, nitơ và hơi nước do các núi lửa đang phun ở thời đó phóng ra, và tất cả được hòa trộn với khí hyđrô. Thí nghiệm của Miller và Urey đã được làm đi làm lại với hỗn hợp mới này và kết quả là nhiều hợp chất hữu cơ rất đa dạng lại một lần nữa xuất hiện.

Miller, Urey và những người kế tục các ông đã chọn đúng con đường để tiến tới giải mã bí mật của sự sống. Song tới đích thì vẫn còn rất xa, bởi vì chặng đường từ các chất hữu cơ và các axit amin đến các chuỗi xoắn kép ADN biết tự nhân đôi và tới sự sống còn rất dài. Xác suất để một vi rút hình thành một cách tự phát và ngẫu nhiên trong vòng một tỷ năm (khoảng thời gian kể từ khi Trái đất ra đời cho đến khi tế bào đầu tiên xuất hiện) xuất phát từ một trò chơi ngẫu hứng của các phân tử, nhập lại rồi rã ra một cách hoàn toàn ngẫu nhiên trong món súp nguyên thủy của Trái đất. Xác suất đó là một con số nhỏ không thể tưởng tượng nổi, cỡ $10^{-2000000}$ (số 1 đứng sau 2 triệu số 0 sau dấu phẩy). Nó còn nhỏ hơn xác suất để



Hình 56. *Thí nghiệm của Miller và Urey*. Những biến thể hiện đại của thí nghiệm cổ điển này chứng tỏ rằng các phân tử hữu cơ cần thiết cho sự sống đều có thể được tổng hợp xuất phát từ các khí có trong bầu khí quyển nguyên thủy của Trái đất, như khí cacbonic, nitơ, hơi nước và hyđrô bị phóng điện (trong vòng một tuần lễ). Sự phóng điện được dùng ở đây là để mô phỏng sấm sét trong những cơn giông bão đã từng gầm thét trong bầu khí quyển của Trái đất hồi non trẻ.

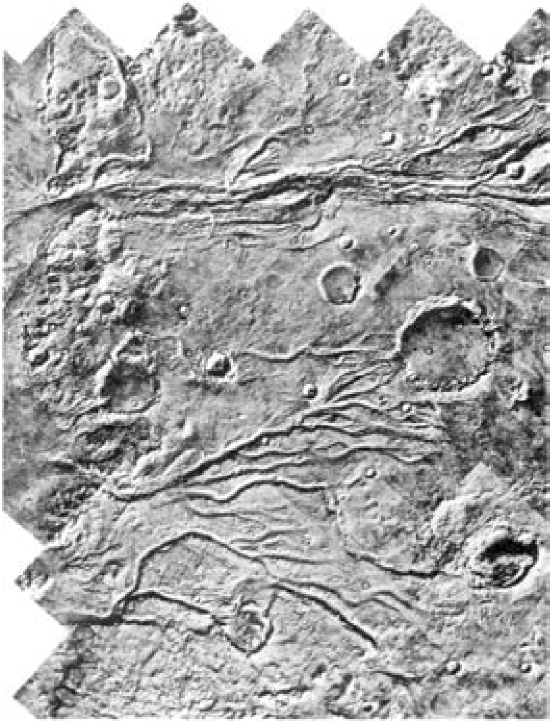
một đồng xu tung lên rơi sấp 6 triệu lần liên tiếp[1]. Cơ may cho một sự kiện như thế xảy ra là cực kỳ nhỏ bởi vì số lượng các tổ hợp hóa học có thể có trong môi trường nguyên sơ đó lại lớn không thể tưởng tượng nổi.

Những nguyên lý đột sinh

Cơ may để cho sự sống xuất hiện một cách tự phát nhờ sự gặp gỡ ngẫu nhiên của các nguyên tử và phân tử trong môi trường nguyên thủy của Trái đất, thực tế hầu như bằng không, thậm chí mặc dù độ phức tạp của một phân tử ADN chưa bằng độ phức tạp của một vi-rút. Như vậy, chúng ta phải có thái độ như thế nào trước thực trạng đó? Tất nhiên, chúng ta có thể trầm trồ thán phục, nhưng đó không phải là một thái độ khoa học. Những nhà khoa học khác như nhà vật lý Thụy Điển Svante Arrhenius (1859-1927) hoặc gần ta hơn như nhà sinh học Anh Francis Crick (1916-2004) và nhà vật lý thiên văn Anh Fred Hoyle (1915-2001) đã cho rằng vì sự sống đã không có đủ thời gian để phát triển trên Trái đất, cho nên nó phải tới từ ngoài không gian, có thể là dưới dạng các vi sinh vật, nhờ sự phục vụ tận tụy và trung thành của các thiên thạch hoặc các sao chổi. Các vi sinh vật từ nơi khác đến có lẽ đã có nhiều thời gian để phát triển, hơn là một tỷ năm trên Trái đất. Gần đây giả thiết này đã có một bước ngoặt mới, sau khi người ta phát hiện ra mảnh đá do một tiểu hành tinh làm văng ra từ Hỏa tinh và rơi xuống vùng Nam Cực. Mảnh đá này dường như có chứa các sinh vật còn sống. Liệu đây có phải là sự sống từ ngoài đến Trái đất, quá cảnh qua Hỏa tinh không? (H. 57). Nhưng cho dù sự sống quả thật

1. Paul Davies, *The Cosmic Blueprint*, Simon and Schuster, New York, 1988

từ ngoài không gian đến, điều này cũng chỉ đưa vấn đề về nguồn gốc sự sống đến một thời gian sớm hơn và ở một nơi khác trong Vũ trụ, có lẽ dưới những điều kiện vật lý khác mà thôi.



Hình 57. *Về sự sống trong quá khứ của Hỏa tinh?* Sự tồn tại của những lòng sông đã khô cạn trên Hỏa tinh do con tàu thăm dò Viking chụp được vào năm 1976, gợi ý rằng nước từng chảy thành các dòng trên Hỏa tinh dưới bầu khí quyển dày hơn hiện nay rất nhiều. Khí quyển hiện nay của Hỏa tinh đã bốc hơi đi nhiều và hiện mỏng hơn bầu khí quyển Trái đất tới 100 lần. Toàn bộ nước được phơi bày trước một bầu khí quyển mỏng như thế sẽ sôi và bốc hơi hết hoặc sẽ biến thành băng ngay lập tức. Sự hiện diện của nước trong quá khứ của Hỏa tinh gợi ý rằng sự sống đã từng tồn tại ở đó dưới dạng các vi sinh vật ẩn giấu trong đất, khoảng ba tỷ năm trước. Một mảnh đá tới từ Hỏa tinh và rơi xuống Nam Cực có thể chứa những vi sinh vật cổ xưa đó. (*ảnh NASA*)

Bởi vì chưa có đủ những bằng chứng thực nghiệm về sự sống đến từ ngoài Trái đất, chúng ta đành phải bằng lòng xem xét giả thuyết về sự sống phát sinh từ Trái đất. Nếu sự sống không xuất hiện một cách tự phát và ngẫu nhiên, chúng ta cần phải thừa nhận sự tồn tại của một hoặc nhiều nguyên tắc tổ chức, có thể dẫn dắt các phân tử trong môi trường nguyên thủy của Trái đất trên suốt chặng đường dài đi từ trạng thái phân tử đến các chuỗi xoắn kép ADN. Cũng cần phải chấp nhận giả thuyết rằng các "định luật của sự phức tạp hóa" cũng tồn tại, cho phép Tự nhiên tiến triển. Các nguyên lý tổ chức này không đòi hỏi nhất thiết phải có sự hiện diện của những lực huyền bí mới ngoài bốn lực đã biết, hoặc sự hiện diện của các tương tác còn chưa được phát hiện ra. Chúng cũng không đòi phải có một thành phần bổ sung như trong trường hợp thuyết sức sống. Nhưng cũng không loại trừ khả năng một ngày nào đó, có thể sẽ xuất hiện những lực mới chỉ tác dụng lên các vật chất sống: giả thuyết cho rằng các vật chất sống và vật chất trơ ì bị chi phối bởi cùng các lực vật lý còn lâu mới được kiểm chứng một cách chặt chẽ như mong muốn. Tuy nhiên, các nguyên tắc tổ chức nói ở đây không đòi hỏi sự hiện diện của các lực mới. Nhưng sự tồn tại của các lực mới này cũng không mâu thuẫn với sự tồn tại của các lực đã biết. Chẳng hạn các lực hạt nhân mạnh vẫn làm tròn nhiệm vụ của nó là giữ cho proton và nơtron gắn kết với nhau trong các hạt nhân nguyên tử, và lực điện từ vẫn đảm nhiệm việc gắn kết các nguyên tử và phân tử. Những nguyên lý này không hề mâu thuẫn với các lực truyền thống, cho dù tác động của chúng có một quy mô khác. Trong khi các lực truyền thống chỉ tác dụng trong phạm vi cục bộ, các nguyên lý tổ chức lại tác động ở quy mô tổng thể, nó dẫn dắt và định hướng cho hoạt động của tập hợp các nguyên tử và phân tử một cách tổng thể.

Các nguyên lý tổ chức và các định luật vật lý truyền thống có thể cùng tồn tại ở những cấp độ khác nhau, bởi vì các định luật này đã mất đi tính tất định cứng nhắc mà Newton và Laplace tưởng đã tìm thấy ở chúng. Chúng ta cũng chứng minh sự nhòe lượng tử đã quét sạch toàn bộ quan niệm quyết định luận, và một hệ thống mở trong trạng thái không cân bằng có thể rẽ nhánh sang trạng thái có tổ chức (hoặc hỗn độn) mà không ai dự đoán trước được. Các nguyên lý tổ chức không thể tồn tại ở cấp độ đơn giản nhất là cấp độ của các hạt cơ bản, nhưng chúng sẽ "đột sinh" ngay khi mức độ phức tạp vượt qua một ngưỡng tới hạn nào đó. Vì thế mà người ta gọi chúng là những "nguyên lý đột sinh". Những nguyên lý này không thể tồn tại ở cùng một cấp độ khái niệm với cấp độ các hạt cơ bản; cũng như các khái niệm "cứu cánh luận", hoặc "kế hoạch lớn" hoàn toàn không có ý nghĩa gì ở cấp độ proton hay electron. Do vậy, người ta có thể cho rằng các hệ thống sinh học có một hệ thống thứ bậc về trình độ tổ chức, và ở mỗi trình độ của hệ thống thứ bậc ấy nó lại đột sinh ra những khái niệm và những hành trạng mới, không thể được suy ra từ sự phân tích các thực thể ở trình độ thấp hơn. Hành trạng của một tập hợp phức tạp và có tổ chức tạo thành bởi vô số các hạt không thể được ngoại suy từ hành trạng của một hoặc vài hạt ấy.

Máy tính và chương trình

Như vậy, các tính chất hóa học của đường và của rượu không thể trực tiếp suy ra từ những tính chất của các nguyên tử cacbon, hyđrô và oxy mà các chất đó được tạo thành, cho dù vẫn có những mối liên hệ nhân quả giữa hai phạm trù đó. Cũng tương tự như vậy, nguồn gốc của sự sống không thể được rút ra từ việc nghiên

cứu các hạt vô sinh. Để có một hình ảnh phỏng theo tin học thì các hạt cơ bản, nguyên tử và phân tử là những thứ thuộc về phần cứng; trái lại, các nguyên lý tổ chức thuộc phần mềm. Máy tính dùng phần cứng để chuyển tải phần mềm. Dãy các lệnh gọi là "chương trình" được lưu trữ trong bộ nhớ của máy tính, nhưng lại vận hành ở trình độ cao hơn phần cứng. Chương trình đóng vai trò giống như một nguyên tắc tổ chức, nó hướng dẫn sự hoạt động của máy tính. Nó chỉ thị cho máy phải tính toán như thế nào, sử dụng các thống kê ra sao, thậm chí đánh cờ như thế nào. Các electron lưu hành trong các mạch điện hết sức phức tạp của máy tính, tuân thủ một cách nghiêm ngặt các định luật vật lý truyền thống, nhưng sẽ là phi lý nếu nói rằng các quy tắc của môn đánh cờ có thể được rút ra từ các định luật điện từ và cơ học lượng tử, là những quy luật chi phối hành trạng của các electron. Các electron và chương trình chơi cờ phải được xếp vào các trình độ khác nhau.

Vậy các nguyên lý tổ chức có thể có những hình thức nào? Thực ra, trong cuộc ngao du ở trên, chúng ta cũng từng gặp một ví dụ. Chúng ta đã thấy rằng trong các hệ thống mở và ở trạng thái không cân bằng như trong trường hợp đồng hồ hóa học, vật chất không hoạt động một cách ngẫu nhiên, mà trong một số điều kiện, nó có thể tự tổ chức. Trong khi cái ngẫu nhiên gắn liền với sự cân bằng thì sự không cân bằng lại có thể tạo ra sự phức tạp và tính tổ chức. Do vậy người ta có thể nghĩ rằng hệ thống các hạt trong môi trường nguyên thủy của Trái đất đã trải qua một loạt những phân nhánh đột ngột, dẫn dắt hệ thống từ trình độ này tới trình độ khác, từ nấc thang này đến nấc thang khác, để tới được các trạng thái tự tổ chức ngày càng phức tạp, cho đến khi xuất hiện một cấu trúc biết tự sao chép, nhân bản và cuối cùng xuất hiện sự sống.

Tất cả những gì diễn ra trước đó chỉ mới là phỏng đoán. Trái lại, một điều khá chắc chắn là cặp axit nucleic/protein không xuất hiện đồng thời trong cùng một giai đoạn, và sự sống cần có những nguyên lý tổ chức đột sinh không thể suy ra từ hành trạng của các hạt cơ bản.

Sự thăng tiến của sự sống

Trong khi đi vòng quanh thế giới trên con tàu *Beagle*, nhà tự nhiên học người Anh Charles Darwin (1809-1882) đã quan sát thấy tính đa dạng kỳ lạ của các loài sinh vật trên khắp thế giới, đặc biệt là ở các hòn đảo Galapagos. Chính sự đa dạng này đã khích lệ ông sáng tạo ra thuyết tiến hóa của các loài. Lý thuyết này từ đó được gọi là thuyết Darwin. Nó đã được trình bày trong tác phẩm bậc thầy của ông, xuất bản vào năm 1859: *Về nguồn gốc các loài qua con đường chọn lọc tự nhiên*. Lý thuyết này đã đưa chiều thời gian vào việc nghiên cứu sinh vật. Các loài sinh vật không được tạo ra đầy đủ ngay từ đầu. Những nghiên cứu cổ sinh vật học cho biết: hình dáng của các sinh vật đã thay đổi và tiến hóa, chúng được phân hóa qua các kỷ địa chất để thích ứng với môi trường xung quanh thay đổi. Tác phẩm của Darwin đã có một tiếng vang to lớn về mặt tâm lý, bởi vì nó đã đưa con người ra khỏi địa vị đặc ân trong vương quốc của các sinh vật. Darwin tuyên bố rằng con người không phải là con cưng của Chúa Trời và cũng không phải là dòng dõi của ông Adam và bà Eve nào hết. Nó có nguồn gốc cũng chẳng cao sang gì và nếu lần lượt đi ngược dòng thời gian, thì nó thuộc dòng dõi của linh trưởng, loài có vú, loài chim, loài cá, côn trùng và cuối cùng là những tế bào nguyên sinh. Đó là cú sốc gây choáng váng không kém gì cú sốc mà ba thế kỷ trước, linh mục người Ba Lan Nicolas

Copernicus đã gây ra đối với ý thức con người, khi ông trục xuất con người ra khỏi vị trí trung tâm trong Hệ Mặt trời. Với lý thuyết của mình, Darwin đã kiên quyết ném vào quên lãng những vết tích cuối cùng của tư tưởng Aristoteles có liên quan đến sự tiến hóa của sinh vật. Sự giải thích mang tính mục đích luận cũng bị bác bỏ. Sự tiến hóa của sự sống trên Trái đất không diễn ra theo một "kế hoạch lớn" nào cả và cũng không hướng tới một mục đích tiền định nào. Trái lại, nó phát triển nhờ sự ngẫu nhiên của các đột biến, được thúc đẩy bởi động cơ chọn lọc tự nhiên.

Những tiến bộ phi thường trong lĩnh vực cổ sinh vật học, sinh học, di truyền học, kể từ khi công bố tác phẩm của Darwin, chỉ góp phần khẳng định ý tưởng chủ yếu của nhà tự nhiên học này: đó là sinh vật tiến hóa theo thời gian. Việc nghiên cứu các hóa thạch chỉ ra rằng những sinh vật đầu tiên xuất hiện trên Trái đất từ cách đây 3,5 tỷ năm dưới dạng các sinh vật đơn bào cực kỳ đơn giản; đó là những vi khuẩn và tảo xanh sống chen chúc nhau dưới các đại dương nguyên thủy. Từ đó các hình thái sống không ngừng tiến hóa và trải qua nhiều đột biến. Những tiến bộ của ngành sinh học phân tử cho phép chúng ta hiểu được lý do: các đột biến xảy ra khi những nhóm phân tử được gọi là gen ngẫu nhiên được sắp xếp lại trong ADN của một cơ thể sống một cách tự phát hoặc do những sai sót trong sự sao chép mã di truyền.

Nếu như hiện nay ý tưởng về sự tiến hóa của các loài trong lý thuyết của Darwin và trong những biến thể hiện đại của nó, tức "thuyết Darwin mới" hầu như đã được mọi người chấp nhận, thì những cơ chế của sự tiến hóa đó do Darwin và những người kế tục ông đưa ra - như các đột biến gen xảy ra ngẫu nhiên và sự chọn lọc tự nhiên - lại ít được chấp nhận hơn. Làm thế nào mà một cơ thể sống cực kỳ phức tạp như một động vật hoặc một con người, được

trang bị những cơ quan có hiệu suất và hiệu quả rất cao, ví như mũi và tai, hoạt động một cách hài hòa (tới mức một cơ quan nào đấy bị rối loạn chức năng là đã sinh ra bệnh), lại có thể là kết quả của sự ngẫu nhiên, của một loạt những biến cố? Làm sao một cơ quan hoàn hảo như con mắt với hàng trăm triệu tế bào hình nón, chuyển những tín hiệu ánh sáng từ võng mạc đến não, lại có thể xuất hiện một cách tình cờ được? Làm thế nào các sự kiện hoàn toàn hỗn độn lại có thể dẫn đến những cơ thể có khả năng đối mặt và thích nghi với những biến đổi của môi trường và những tai biến đã từng xảy ra xưa kia, do một thiên thạch khổng lồ đập vào Trái đất, làm cho bụi đất tung lên mù mịt chắn hết ánh sáng Mặt trời dẫn đến một mùa đông kéo dài trên quy mô toàn cầu? Nhất là làm thế nào các đột biến gen hoàn toàn ngẫu nhiên lại có thể dẫn tới những cấu trúc hoàn toàn mới và có hiệu suất rất cao, như bộ óc chúng ta, một mạng gồm hàng trăm tỷ nơron, có khả năng tư duy, biết cảm nhận tình yêu và thưởng thức cái đẹp.

Những vấn đề này còn được khuếch đại lên nữa, khi chúng ta quan sát sự tiến hóa của bầu sinh quyển trong tổng thể của nó. Lịch sử của sự sống thường được mô tả như là một sự tiến hóa từ thấp đến cao, một tiến bộ bắt đầu từ các hình thái cực kỳ thô sơ và đơn giản, đến các cơ thể phức tạp và hoàn thiện không thể tưởng tượng nổi. Quá trình tiến hóa của sự sống được so sánh với sự leo các nấc thang tổ chức hoặc sự lên cao của hình tháp độ phức tạp và con người nằm chót vót ở đỉnh của thang hoặc đỉnh của tháp đó. Ý tưởng cho rằng con người ở đỉnh của sự tiến hóa chắc hẳn là đã quá coi con người là trung tâm. Chẳng có lý do gì để coi con người là đích tới cuối cùng trên chặng đường dài tiến hóa của sự sống. Tuy nhiên, với những kết quả của rất nhiều nghiên cứu cổ sinh học, ta không thể phủ nhận được rằng, trải qua 3,5 tỷ năm lịch sử

Trái đất, sự sống đã không ngừng tiến hóa từ cái đơn giản đến cái phức tạp, từ cái kém tổ chức đến cái cực kỳ hoàn thiện. Vậy thì làm sao cái ngẫu nhiên lại có thể là nguyên nhân duy nhất của sự tiến bước không ngừng để đi tới sự phức tạp được?

Ngẫu nhiên hầu như luôn dẫn đến hỗn độn

Hoàn toàn bằng trực giác, chúng ta đều cảm thấy rằng nếu để cho được tự do, cái ngẫu nhiên có xu hướng phá hủy hơn là xây dựng, gieo rắc hỗn độn hơn là thiết lập trật tự. Một hệ thống càng phức tạp bao nhiêu thì càng dễ bị xuống cấp, bị rối loạn chức năng và bị hư hỏng bấy nhiêu. Một hạt bụi trên lối đi không cần đến sự chăm sóc, nhưng lại cần phải có kiến thức và sự khéo léo của người làm vườn mới giữ được cho hoa mọc ở hai bên lối đi luôn có được những sắc màu rực rỡ. Một hòn đá nằm trên đường không cần ai trông nom, song những nhà thờ gôtích uy nghi được xây bằng đá đẽo sẽ bị sụp đổ thành đống hoang tàn, nếu như không có sự bảo dưỡng và tu bổ thường xuyên. Nếu cứ để cho cái ngẫu nhiên tác động một cách mù quáng thì một hệ thống phức tạp sẽ dễ bị hư hỏng hơn là một cấu trúc đơn giản. Mọi sai lệch được đưa vào một cách ngẫu nhiên sẽ đem lại hậu quả nặng nề đối với một hệ thống có cấu trúc cao hơn là một hệ có cấu trúc đơn giản. Khi một kỹ sư có sai sót nhỏ trong việc thiết kế một chiếc xe cút kít thì điều đó sẽ không gây ra những hậu quả gì quá nghiêm trọng cả. Chiếc xe vẫn đẩy đi được và bạn vẫn có thể dùng nó trong công việc vườn tược. Nhưng nếu đó là những sai lầm trong thiết kế một chiếc xe hơi thì hậu quả có thể gây chết người. Những sai sót nhỏ nhặt nhất trong thiết kế một máy bay hoặc một con tàu vũ trụ có thể dẫn đến những thảm họa.

Cái thiên hướng dễ bị hư hỏng của các hệ thống phức tạp này có một lý do. Một hệ thống phức tạp có thể tồn tại trong rất nhiều trạng thái so với một hệ thống đơn giản. Trong số những trạng thái khả dĩ này, có rất nhiều trạng thái hỗn độn hơn là trật tự. Bạn có thể thấy rõ điều này trong trò đánh bài. Nếu trong một ván, tay bài của bạn được xếp theo một trật tự nào đó và bạn đã thắng ván ấy, thì xác suất để trong một ván khác bạn cũng nhận được những quân bài xếp theo đúng thứ tự ấy thực tế gần như là bằng không. Những tổ hợp mà trong đó các quân bài được xếp hỗn độn có số lượng lớn hơn rất nhiều so với những tổ hợp trong đó các quân bài được xếp có trật tự. Đó cũng là lý do người ta phải xáo kỹ bài trước khi chia. Xáo bài tức là làm cho các lá bài đang được – sắp xếp theo một trật tự thành những lá bài sắp xếp hỗn độn, hoặc đang xếp hỗn độn chuyển sang một kiểu hỗn độn khác, rất hiếm khi đang từ hỗn độn chuyển sang trật tự.

Cũng tương tự như thế, nếu ngẫu nhiên tự nó hoàn toàn quyết định sự sắp xếp lại các gen, gây ra những đột biến di truyền thì chúng ta có thể chờ đợi một sự hỗn độn gia tăng khiến cho độ phức tạp của các cơ thể sống bị xuống cấp, chứ không phải làm gia tăng trật tự và làm cho các cơ thể này càng trở nên có tổ chức hơn và hoàn thiện hơn. Việc nghiên cứu các đột biến ở một loài ruồi có tên là "ruồi dấm" đã chứng minh rằng: đa số các đột biến đều mang đến những hệ quả có hại hơn là có lợi, và cơ thể sống có xu hướng thoái hóa hơn là hoàn thiện.

Chúng ta cũng có thể phát biểu vấn đề trên bằng nội dung thông tin. Thông tin cần thiết để xây dựng một cơ thể sống chứa đựng trong các gen của chúng. Một cơ thể phát triển phức tạp hơn đòi hỏi nhiều thông tin hơn. Một cơ thể càng trở thành hoàn thiện thì nó càng đòi hỏi phân tử ADN phải có được một lượng thông tin

nhiều hơn. Sự gia tăng thông tin ấy lấy ở đâu ra? Lý thuyết thông tin (và cả trực giác của ta nữa) cho biết rằng các nhiễu loạn thất thường do ngẫu nhiên sinh ra (được gọi là "tiếng ồn") có tác dụng làm giảm nội dung thông tin chứ không hề làm tăng. Những ai nói chuyện qua điện thoại bị nhiễu hoặc nghe âm thanh từ một máy thu thanh với tín hiệu quá yếu vì ở quá xa đài có thể chứng thực rằng: phần lớn các từ ngữ, cũng tức là thông tin, đã bị mất trong tiếng ồn của các tạp âm.

Chọn lọc tự nhiên

Trước những ý kiến phản đối rằng ngẫu nhiên không thể là một nguồn liên tục của trật tự và tổ chức, rằng sự đột biến tình cờ không thể dẫn đến sự đa dạng tuyệt vời của các sinh vật sống quanh ta, nhà khoa học theo "thuyết Darwin mới" đáp lại rằng những thay đổi do cái ngẫu nhiên tạo ra, dù trong phần lớn thời gian đúng là nguyên nhân của sự xuống cấp, thì thi thoảng chúng cũng tạo ra một sự hoàn thiện đối với cơ thể sống. Sự hoàn thiện đó sẽ được chọn lọc, duy trì và khuếch đại lên nhờ bộ lọc mà Darwin gọi là "sự chọn lọc tự nhiên", cho tới khi sinh vật được sửa đổi trở thành chuẩn mực. Chọn lọc tự nhiên là một quá trình, nhờ đó mà trong cuộc đấu tranh liên tục để giành lấy những nguồn tài nguyên hạn chế, các loài không thích ứng với môi trường xung quanh sẽ thua cuộc và bị loại bỏ. Những loài thích ứng tốt là những loài có khả năng sống sót, tái tạo và sinh sôi.

Chọn lọc tự nhiên đã thực sự tác động trong Tự nhiên, đó là điều không cần phải tranh cãi. Tìm các ví dụ không phải là chuyện khó khăn gì. Chúng ta hãy tưởng tượng một khu rừng có một loài động vật đặc biệt. Tất cả các con vật đều có lông màu sáng khác hẳn với

màu của rừng cây. Một hôm, những đột biến gen làm cho một vài con sinh ra với màu lông sẫm, lập tức các con vật này hòa lẫn hoàn toàn với màu cây cỏ. Không khó khăn gì để có thể đoán được sự tiến hóa của hai nhóm động vật có màu lông khác nhau đó. Cùng với thời gian, nhóm có bộ lông sáng dần dần bị tiêu diệt bởi các con vật săn mồi hoặc bởi các tay thợ săn vì chúng dễ nhìn thấy. Trái lại, nhóm động vật kia thoát khỏi sự tuyệt chủng, chúng phát triển và sinh sôi nảy nở. Các hậu duệ của chúng đều có bộ lông màu sẫm để thích nghi với màu của cây rừng.

Sự lọc các gen bằng chọn lọc tự nhiên cho phép các loài động vật sống thích nghi tốt hơn với môi trường, chắc chắn là điều đã xảy ra. Ý tưởng trung tâm của thuyết chọn lọc tự nhiên, theo đó "các con vật được trang bị tốt nhất để sống sót sẽ sống sót" là điều hầu như hiển nhiên và không có gì phải xem xét lại. Điều khó hiểu hơn nhiều là tính hệ thống của sự sàng lọc và chọn lọc đó. Sự tích tụ của vô vàn đột biến gen đã đẩy cho sự tiến hóa không ngừng đi lên phía trước, từ bỏ cái đơn giản và liên tục vươn tới cái phức tạp hơn. Đương nhiên, cơ thể con người phức tạp hơn rất nhiều so với cơ thể các loài đơn bào xuất hiện cách đây 3,5 tỷ năm. Nhưng điều đó không hoàn toàn xác nhận rằng sự tiến hóa có hệ thống này từ cái đơn giản đến cái phức tạp diễn ra đúng theo lý thuyết Darwin.

Có phải vi khuẩn thích nghi tốt hơn hươu cao cổ?

Một trong những giả thuyết ngầm của thuyết Darwin là cho rằng các sinh vật "hạ đẳng" kém sẵn sàng thích nghi với môi trường so với các sinh vật "thượng đẳng". Nhưng ai dám nói với chúng ta rằng các sinh vật đơn bào ít thành công hơn chúng ta trong cuộc đấu tranh cho sự sống. Xét cho cùng, các sinh vật này đã sống

sót trên 3 tỷ năm (có tới 27.000 loại tảo khác nhau đã biết), một thành công mà ta không thể bảo đảm là loài người sẽ đạt được, vì thiên hướng thích đùa giỡn với vũ khí hạt nhân và làm ô nhiễm môi trường sinh thái của nó. Trong cuộc đấu tranh của chúng ta chống các loại vi-rút (hiện mới biết khoảng một nghìn loài trên tổng số 1,4 triệu loài đang sống), thật không may, chúng ta thường hay thua cuộc, ví dụ như đối với căn bệnh AIDS. Hươu cao cổ, tê giác đều là những sinh vật đáng chiêm ngưỡng hơn là các vi khuẩn và vi trùng, nhưng phải chăng chúng thực sự thích nghi với môi trường tốt hơn là các vi khuẩn? Nếu chúng ta đo lường khả năng thích nghi với môi trường của một loài đang sống bằng số lượng con cháu của chúng, thì chắc chắn rằng các vi khuẩn thành công hơn nhiều so với hổ và sư tử.

Vậy thì Tạo hóa phải cất công "nặn ra" các cơ thể sống có tổ chức cao hơn và phức tạp hơn để làm gì? Tại sao Tạo hóa không dừng lại ở giai đoạn các sinh vật đơn bào? Tại sao Trái đất ngày hôm nay không chỉ có các tế bào, sống qua ngày bằng cách phân đôi một cách điên cuồng? Nó được ban cho sự đa dạng sinh học để làm gì?

Thuyết Darwin không thể đưa ra một sự giải thích nào về sự tiến hóa có hệ thống luôn hướng tới sự phức tạp này. Tất cả những gì mà thuyết ấy có thể nói được: đó là những cơ thể sống đầu tiên cực kỳ đơn giản và để tiến hóa, chúng không có sự lựa chọn nào khác là phải phức tạp hóa. Khi người ta đứng ở chân thang, người ta không thể xuống thấp hơn được nữa. Sự lựa chọn chỉ có thể là đứng nguyên tại chỗ hoặc trèo lên cao. Nhưng khi đó tại sao Tự nhiên lại không chọn tình trạng đứng nguyên tại chỗ như nó đang đứng?

Khi nghiên cứu trong phòng thí nghiệm những đột biến của ruồi dấm, các nhà khoa học đã thử định lượng tỷ lệ các biến đổi

có hại so với các biến đổi có lợi. Nhưng cách tiếp cận này gặp rất nhiều khó khăn. Trước hết, những gì mà ta cho là có hại hoặc có lợi đều không nhất thiết là như thế đối với loài ruồi. Sau nữa, làm thế nào để định lượng được cái lợi thích nghi đối với môi trường mà một cái cổ dài (trường hợp hươu cao cổ), hai hàng chân (con rết) hoặc một thân hình to lớn (con voi) có thể đem lại? Làm sao có thể xác định được số lượng con cái mà một con vật sinh thêm do cái cổ của nó dài hơn mấy phân? Nghiêm trọng hơn nữa là: chúng ta không bao giờ hiểu biết đầy đủ và chính xác về những điều kiện môi trường (khí hậu, địa lý v.v.) đã từng diễn biến trong suốt 3,5 tỷ năm qua, cũng như về hình thái và hành trạng chính xác của các cơ thể sống và tiến hóa trong những môi trường cổ xưa đó.

Khi thấy rằng cái ngẫu nhiên không thể là động lực của sự tiến hóa hướng tới tính phức tạp, nó cũng không thể là cái tạo ra sự phong phú và đa dạng của quyển sinh thái, một vài nhà khoa học và triết gia đã đưa ra ý tưởng về một nguyên lý dẫn dắt sự tiến hóa của các loài sinh vật trên Trái đất ngày càng tiến tới những trình độ tổ chức cao hơn. Ý tưởng này không phải là điều mới mẻ: Aristoteles đã từng nói đến một sự tiến hóa hướng tới mục đích cuối cùng. Theo ông, những thành phần của cơ thể sống hoạt động theo cách để tạo ra một tổng thể gắn kết với nhau nhờ sự tồn tại của một "ý tưởng" hoàn hảo của cơ thể; ý tưởng này tồn tại thậm chí còn trước cả khi cơ thể ấy phát triển. Ý tưởng về một nguyên lý dẫn dắt cũng là nền tảng của thuyết sức sống. Theo Henri Bergson, một "đà sống" luôn thúc đẩy các hệ thống sinh học tổ chức lại và phát triển một cách sáng tạo và có hiệu quả. Một vài nhà tư tưởng còn gán thêm cho nguyên lý tổ chức này một hơi hướng tôn giáo. Chẳng hạn, thầy tu dòng Tên người Pháp, nhà thần học và cũng là

nhà cổ sinh vật học Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955) đã cho rằng sự tiến hóa của các cơ thể sống đều hướng tới một giai đoạn cuối cùng mà ông ta gọi là "điểm Omêga" và theo ông, giai đoạn này thể hiện sự hiệp thông với Chúa.

Sinh quyển tự tổ chức

Những phát triển mới đây trong lĩnh vực nghiên cứu các quy luật tự tổ chức và phức tạp hóa cho chúng ta thấy rằng việc viện đến các nguyên lý huyền bí hoặc siêu việt để giải thích sự tiến hóa là tuyệt đối không cần thiết. Như chúng ta đã thấy, dù chúng là vật lý (nước sôi) hay hóa học (như đồng hồ hóa học), các hệ thống mở (có tương tác với môi trường) đều có thể đi qua các "điểm phân nhánh" và những điểm này hướng chúng vào những trạng thái có tổ chức hơn. Như vậy sẽ không có gì là vô lý, nếu cho rằng sự tiến hóa sinh học đã diễn ra theo cùng một cách. Thay vì bị thúc đẩy bởi tính ngẫu nhiên của các đột biến gen và bởi sự chọn lọc tự nhiên, sự tiến hóa có lẽ đã tiến bộ theo từng bước phân nhánh, từ sự tự tổ chức này đến sự tự tổ chức khác cao hơn, để leo lên những bậc thang của độ phức tạp.

Kịch bản này không phải bất khả thi do nhiều lẽ. Trước hết, các cơ thể sống đều là những hệ thống mở tuyệt vời. Sự sống không bao giờ tồn tại một cách cô lập. Nó liên tục trao đổi năng lượng với môi trường để hấp thụ thức ăn hay để phóng ra các chất thải. Mặt khác, không thể tránh khỏi có những tác nhân gây thay đổi, bên trong hay bên ngoài, làm phá vỡ sự cân bằng của sinh quyển và đưa nó vào trạng thái không cân bằng. Những thay đổi này diễn ra từ từ từng bước hoặc đột ngột. Sự làm giàu thêm dần dần oxy cho bầu khí quyển Trái đất là một thí dụ của sự thay đổi từ từ như thế.

Trong một quá trình gọi là “quang hợp”, các loài thực vật hấp thụ nước từ đất qua bộ rễ và hấp thụ khí cacbonic bằng lá, rồi chúng sử dụng năng lượng mặt trời để chuyển hóa các chất này thành đường, đồng thời thải oxy vào khí quyển. Trái đất là hành tinh duy nhất của Hệ Mặt trời chứa oxy tự do trong bầu khí quyển của nó chính bởi vì Trái đất là hành tinh duy nhất dung nạp cỏ cây hoa lá. Cũng có những tác nhân gây thay đổi khác, nhưng lần này thì đột ngột: đó là các vụ nổ trên Mặt trời phóng xuống Trái đất các hạt năng lượng cao hoặc là các tia vũ trụ sinh ra từ trong lòng các ngôi sao nặng bùng nổ trong cơn hấp hối, các tia này bay từ không gian đến thăm hành tinh của chúng ta, và sự thăm viếng này có thể đưa đến những đột biến gen trong các cơ thể trên mặt đất. Trong sự liệt kê các sự kiện ngẫu nhiên đã từng làm ra thực tại, chúng ta đã nói đến những thay đổi to lớn và tàn khốc do sự va đập của một tiểu hành tinh lớn vào Trái đất cách đây 65 triệu năm: đó là nguồn gốc sự biến mất khỏi Trái đất của loài khủng long và nhiều loài sinh vật khác (động vật và thực vật). Song cũng từ trong sự kiện tàn khốc này đã xuất hiện và phát triển các loài động vật có vú và từ đó đã ra đời cả tổ tiên chúng ta.

Cho dù diễn ra từ từ hay đột ngột, gây thảm họa hay nhẹ nhàng, thì những thay đổi cũng đẩy quyển sinh thái ra khỏi tình trạng cân bằng động lực, và đẩy nó vào những trạng thái có tổ chức và phức tạp hơn. Với giả thuyết rằng các nguyên lý tự tổ chức có thể được áp dụng đối với cả vật chất sống cũng như vật chất vô sinh, các thay đổi có tính tiến hóa sẽ diễn ra không phải từ từ mà bằng những bước nhảy, giống như các hệ thống vật lý và hóa học thay đổi đột ngột trạng thái khi vượt qua một ngưỡng tới hạn nào đó. Những nghiên cứu của sinh học hiện đại dường như đã chứng minh điều đó. Ý tưởng quan trọng của Darwin cho rằng sự tiến

hóa diễn ra theo từng bước nhỏ, qua những mức độ không cảm nhận được và liên tục, đã được các nhà sinh học Mỹ Stephen Jay Gould và Niles Eldredge đặt lại vấn đề từ năm 1972. Dựa vào môn cổ sinh vật học, hai ông đã chứng minh được rằng nếu sự tiến hóa là liên tục thì người ta đã phải tìm thấy rất nhiều hóa thạch đại diện cho tất cả các hình thức trung gian giữa những nhóm lớn của các sinh vật. Trước kia Darwin từng bác bỏ luận chứng này và cho rằng các "kho lưu trữ" địa chất rất không đầy đủ, rằng người ta đã không thể lục tìm hết ở mọi xó xỉnh của hành tinh, và rằng tất cả các loài cổ sinh vật không phải đều được lưu giữ dưới dạng hóa thạch. Nhưng theo Gould và Eldredge, nếu có quá nhiều khâu còn khuyết như vậy, thì chỉ là vì chúng không tồn tại. Theo họ, sự tiến hóa sinh học diễn ra qua một chuỗi những "cân bằng ngắt quãng". Các loài sinh vật trong một thời gian dài hầu như không biến đổi, rồi lại chịu những thay đổi rất sâu sắc trong một khoảng thời gian tương đối ngắn. Hay nói theo ngôn ngữ của vật lý nguyên tử thì sự tiến hóa diễn ra theo những "bước nhảy lượng tử". Cũng có thể là vào lúc xảy ra một trong những bước nhảy ấy mà tia lửa của sự sống đã xuất hiện.

Một lần nữa chúng ta lại đi đến kết luận rằng một nguyên lý tổ chức toàn cục, mang bản chất tổng thể và không thể quy về cấp độ các hạt cơ bản, nhưng không mâu thuẫn với các quy luật đang chi phối các hạt ấy, đã dẫn dắt sự tiến hóa của sinh quyển. Các loài sinh vật không phải là kết quả của một chuỗi các sự kiện tình cờ. Vũ điệu chuyển hóa của các phân tử trong tế bào, rồi các tế bào tập hợp lại trong một cơ thể sống, các cơ thể sống hội nhập vào một quyển sinh thái có một vẻ đẹp, một sự đa dạng và một sự phức tạp rực rỡ, tất cả những cái đó không chỉ là tác phẩm của sự ngẫu nhiên. Chọn lọc tự nhiên chắc chắn cũng đóng một vai

trò nhất định, song nó không phải là tác nhân duy nhất thúc đẩy sự tiến hóa trên tiến trình của nó dẫn đến độ phức tạp cao hơn. Một nguyên lý tự tổ chức chịu trách nhiệm về chuyện này, nó xuất hiện một cách tự nhiên và tự phát từ một quyển sinh thái bị đẩy ra ngoài trạng thái cân bằng động bởi các hiện tượng dần dần hay đột ngột, ngẫu nhiên hay không ngẫu nhiên.

Mũi tên thời gian và cái chết của Vũ trụ

Sự tiến hóa sinh học đem đến cho thời gian một hướng xác định. Giống như một mũi tên được bắn ra từ dây cung để tới cắm vào bia, sự tiến hóa luôn hướng về phía trước, từ đơn giản đến phức tạp, từ không có cấu trúc đến có cấu trúc ở trình độ cao, từ hỗn độn đến trật tự. Điều này dường như mẫu thuẫn gay gắt với cái được gọi là "định luật hai của nhiệt động lực học" (nhiệt động lực học là một ngành khoa học nghiên cứu về nhiệt). Định luật thứ hai này nói rằng trong một hệ thống kín và cô lập, mức độ hỗn loạn (được đo bằng đại lượng có tên là "*entropy*") phải tăng (hoặc ít ra là không giảm) theo thời gian. Hằng ngày chúng ta vẫn thường thấy những biểu hiện của định luật thứ hai này của nhiệt động lực học; nó làm cho sự hỗn loạn tràn vào các vật bị vứt bỏ: một tòa lâu đài bị đổ nát thành đống hoang tàn bởi vì người ta không bảo dưỡng nó, một mảnh vườn trồng hoa bị cỏ dại lan tràn bởi vì người làm vườn không quan tâm đến nó nữa... Cái vô trật tự hầu như luôn luôn lấn át cái trật tự, có cả nghìn cách để tạo ra sự hỗn loạn nhưng lại không dễ tạo ra sự trật tự. Nếu người ta trộn một cỗ bài thì khó mà tìm thấy một cách ngẫu nhiên một tay bài có những quân bài được xếp theo một trật tự nhất định. Nếu người ta tung những miếng gỗ đã ghép thành hình xuống bàn, thì

hầu như không bao giờ ta thấy chúng tự động xếp lại thành hình như cũ. Có rất nhiều cách để làm cho cỗ bài và bộ đồ ghép hình trở thành hỗn độn hơn là làm cho chúng trở thành trật tự mà ta mong muốn. Đó là bởi vì hỗn độn có nhiều khả năng xảy ra hơn và nó hầu như bao giờ cũng là cái ưu thắng.

Vì vậy mà nhà vật lý Đức Hermann von Helmholtz (1821-1894) đã phải tuyệt vọng kêu lên rằng: "Vũ trụ đang lao tới cái chết". Ông đã dự đoán Vũ trụ sẽ không thể tránh khỏi bị sự hỗn độn xâm chiếm. Sự tăng của entropy luôn luôn đi kèm với mọi quá trình tự nhiên, theo ông, ắt sẽ dẫn đến sự đình đốn mọi hoạt động sáng tạo trong lòng Vũ trụ. Mỗi một giây trôi qua, mỗi một giờ điểm nhịp đều thấy Vũ trụ tiêu hao năng lượng để biến thành nhiệt. Nhiệt năng đó, vốn là năng lượng bị xuống cấp, không thể dùng lại như một nguồn năng lượng được và nó cũng không còn có ích để duy trì sự hoạt động của Vũ trụ. Sau một thời gian nào đó, mọi dự trữ năng lượng sẽ bị cạn kiệt và Vũ trụ sẽ rơi vào một trạng thái cân bằng nhiệt động cằn cỗi, từ đó mọi sự khác biệt về nhiệt độ đều bị loại trừ, mọi sự sáng tạo đều bị gạt bỏ và chỉ có sự suy sụp ngự trị. Vũ trụ sẽ chết giữa một đại dương năng lượng rộng lớn bị xuống cấp và không giúp được gì cho nó nữa. Mọi cấu thành của Vũ trụ (các hành tinh, các ngôi sao, các thiên hà), mọi sáng tạo của thiên tài con người (các bản giao hưởng của Beethoven, các bức họa của Van Gogh...), tất cả sẽ bị chôn vùi trong đống đổ nát của một Vũ trụ điêu tàn không gì có thể cứu vãn. Mặt trời chiếu sáng ban ngày và các vì sao lấp lánh ban đêm đều là những ví dụ về thứ năng lượng của Vũ trụ đang bị xuống cấp này và rồi sẽ trở thành vô dụng. Mặt trời và các vì sao đến một ngày nào đó sẽ cạn nguồn dự trữ chất đốt hạt nhân và sẽ tắt. Muôn vàn xác chết của các ngôi sao, như những sao lùn đen, sao nơtron, các lỗ đen, nằm rải rác trong

các thiên hà. Vũ trụ chìm đắm trong đêm đen băng giá và không còn duy trì sự sống được nữa[1].

Các ngôi sao tạo ra hỗn độn

Song nếu như định luật hai của nhiệt động lực học dẫn đến sự suy sụp và cái chết không thể tránh khỏi của Vũ trụ, nếu nó thay thế trật tự bằng hỗn độn và nếu nó gắn với mũi tên của sự thất vọng, thì làm sao có thể giải thích được tính tổ chức và sự hài hòa của Vũ trụ, làm sao có thể hiểu được rằng chúng ta không sống trong một Vũ trụ hoàn toàn hỗn độn? Những nghiên cứu thiên văn, địa chất, cổ sinh vật và sinh học đều nói ngược lại rằng, ở đâu đó, Vũ trụ vẫn đang tiến triển từ hỗn độn đến trật tự, từ đơn giản đến phức tạp, từ không có tổ chức đến có tổ chức. Xuất phát từ một chân không chứa đầy năng lượng, Vũ trụ đã tạo ra các hạt cơ bản, các thiên hà, các vì sao, các hành tinh và tạo ra sự sống trên một trong số các hành tinh ấy. Nó đã biết tạo ra các trạng thái năng lượng và trạng thái vật chất ngày càng phức tạp và hoàn thiện hơn. Thay vì đi theo hướng của mũi tên dẫn đến cằn cỗi và tuyệt vọng, nó có thể, ở nơi này hoặc nơi khác, lại đi theo hướng dẫn đến sáng tạo và hy vọng. Điều đó phải chăng có nghĩa là định luật hai của nhiệt động lực học bị vi phạm ở các nơi đó? Hoàn toàn không phải. Định luật đó không hề ngăn cấm sự xuất hiện những nơi có trật tự và có tổ chức trong Vũ trụ, miễn là, để bù trừ cho cái trật tự đó, thì một sự hỗn độn lớn hơn phải được sinh ra ở những nơi khác. Các ngôi sao chính là những tác nhân tạo ra sự hỗn độn cần thiết để bù trừ cho sự trật tự bắt buộc phải có đối với tính tổ chức của Vũ trụ. Giống như nước nóng nguội đi khi tiếp xúc với

1. Xem thêm trong *Giai điệu bí ẩn* của cùng tác giả. Bản dịch tiếng Việt của Phạm Văn Thiều, NXB Trẻ, 2013.

không khí lạnh và truyền sự hỗn loạn của các phân tử của nó cho các phân tử không khí, và như vậy, làm tăng thêm sự hỗn độn của Vũ trụ. Cũng tương tự như thế, các ngôi sao chiếu ánh sáng nóng của chúng trong môi trường bao quanh lạnh hơn và bằng cách đó đã làm tăng thêm sự hỗn độn toàn phần của Vũ trụ.

Tổng của toàn bộ hỗn độn do các ngôi sao sinh ra lớn hơn phần phải bù trừ cho sự thiếu hụt hỗn độn (mà các nhà vật lý gọi là "*negentropy*") do sự tổ chức vật chất thành những cấu trúc ngày càng phức tạp hơn tạo ra. Mức độ hỗn loạn thực tế của Vũ trụ như vậy là vẫn tăng theo thời gian và do đó định luật hai của nhiệt động lực học được tuân thủ. Cũng tương tự như thế, sự sống có thể đã xuất hiện trên Trái đất là bởi vì Mặt trời, khi gửi bức xạ ánh sáng của nó, đã sản sinh ra hỗn độn bù trừ cho cái trật tự là kết quả của sự sống xuất hiện trên Trái đất. Các hạt cơ bản, các nguyên tử, phân tử, các ngôi sao, các thiên hà và nhất là sự sống đã có thể tự tổ chức và thoát ra khỏi sự hỗn độn và suy thoái mà Helmholtz đã từng lo sợ, bởi vì chúng đều là những hệ thống mở, thường xuyên "xuất khẩu" hỗn độn ra môi trường bao quanh để chống lại sự thoái hóa mà định luật hai của nhiệt động lực học luôn đe dọa một cách thường trực. Ngược lại, bản thân Vũ trụ là một hệ thống đóng. Theo định nghĩa, nó là một thực thể lớn nhất có thể có, nên không có môi trường xung quanh để xuất ra hỗn độn và để tránh một sự suy thoái tối hậu. Song Vũ trụ lại không bằng lòng đi theo các mệnh lệnh của nhiệt động lực học một cách mù quáng. Nó đã tỏ ra cực kỳ sáng tạo bằng cách tạo ra những khu vực trật tự, ở đó các hệ thống mở trong trạng thái không cân bằng có thể tự tổ chức. Nó đã biết đối mặt với mũi tên tuyệt vọng bằng mũi tên của niềm hy vọng. Nó cũng biết thay thế chân không cằn cỗi bằng một kiến trúc Vũ trụ tuyệt vời, tại đó sự sống và ý thức có thể xuất hiện.

CHƯƠNG BẢY

TÍNH HIỆU QUẢ ĐẾN PHI LÝ CỦA TƯ DUY

Các sinh vật đều hướng tới mục đích

Bộ não là hệ thống phức tạp nhất và có tổ chức nhất mà Tạo hóa đã sáng tạo ra. Nó có khả năng dẫn dắt hoạt động của chúng ta, cho ta cảm thấy niềm vui và nỗi buồn, khiến ta kinh ngạc trước sự ra đời của một trẻ sơ sinh; song nó cũng làm cho ta suy sụp vì đau đớn trước cái chết của một người thân. Bộ não có khả năng sản sinh ra tư tưởng, sáng tạo ra những bản nhạc tao nhã hoặc những tác phẩm văn học bất tử. Nó là nơi của tự do ý chí và đặt ra những câu hỏi về Vũ trụ đã sinh ra nó. Nó ru giấc ngủ của ta bằng những giấc mơ êm đềm, nhưng cũng có thể làm khuấy động giấc ngủ của ta bằng những cơn ác mộng khủng khiếp. Vấn đề lại được đặt ra một lần nữa là: một cấu trúc hoàn thiện và có tổ chức cao đến thế, liệu có thể được giải thích chỉ bằng những định luật vật lý và hóa học? Liệu hành trạng của chúng ta có thể quy giản về các mạch nơron và các hạt cơ bản? Hay lại thêm một lần nữa vẫn cần phải cầu viện đến các định luật của sự tự tổ chức và phức tạp hóa thuộc một cấp độ cao hơn các định luật vật lý của các hạt?

Chỉ cần quan sát hành vi của các sinh vật quanh ta là đủ để hiểu rằng các hành động của chúng đều hướng về một mục đích, rằng chúng hoạt động là để thực hiện một nhiệm vụ: con chim đi kiếm mồi và mang về tổ ở chót vót trên cây là để nuôi đàn con của nó, một con chó chơi đùa với khúc xương (ở đây chơi là mục đích), một con mèo gà gật dưới ánh nắng mặt trời (ở đây mục đích là ngủ) và nhất là mọi con người đều bận rộn với những công việc thường nhật của mình.

Để làm ví dụ, ta hãy quan sát hoạt động của một con chim giẻ xanh đang nuôi con. Toàn bộ cơ thể của nó vận hành một cách hài hòa để thực hiện nhiệm vụ kiếm mồi. Các bộ phận của cơ thể con chim đều tham gia một cách có phối hợp vào một chiến thuật chung. Cặp mắt của chim tìm kiếm và xác định con mồi, đôi cánh đưa con chim đến chỗ nó nhận ra con giun đất, cái mỏ chim mổ vào con giun và đôi cánh lại dang rộng để đưa con chim về tổ, nơi đàn chim non đang chờ đợi nó về. Tất cả những công việc đó đòi hỏi một sự phối hợp tuyệt vời của các chức năng cực kỳ phức tạp và tất cả đều phụ thuộc lẫn nhau. Từ đó chúng ta phải đi tới kết luận rằng hoạt động của con chim đều mang tính mục đích và hướng tới một mục đích. Cũng không thể không cho rằng con chim đã có trong bộ óc của mình một hình ảnh của mục đích mà nó muốn đạt tới - trong trường hợp này, đó là mục đích nuôi đàn con nhỏ.

Rất khó có thể giải thích hoạt động mang tính mục đích mạnh mẽ này của con chim bằng quy giản luận thuần túy. Theo quan điểm đó thì các nguyên tử và phân tử tạo nên cơ thể con chim chỉ có thể chịu ảnh hưởng của các nguyên tử và phân tử lân cận, thông qua các lực cục bộ, còn các lực này lại tuân theo các định luật vật lý truyền thống. Vậy thì làm thế nào để chúng có thể phối hợp hành

động trên quy mô toàn thân của con chim, nhằm thực hiện "ý chí" của nó? Một lần nữa chúng ta lại phải đối mặt với "mâu thuẫn nhận thức luận sâu sắc" của Jacques Monod.

Hành vi bản năng

Đối mặt với mâu thuẫn này, người theo quy giản luận đáp lại rằng: tất cả mọi hành vi của các sinh vật không phải là do ý chí hoặc có ý thức, mà một số hành vi thuộc về lĩnh vực bản năng. Chẳng hạn, không thể có chuyện một con nhện khi chăng tơ đã có sẵn trong đầu nó một chiến thuật tổng quát, một kế hoạch lớn để thực hiện theo từng giai đoạn. Theo sinh học cổ điển, con nhện chỉ hành động theo bản năng. Không ai dạy cho con nhện chăng tơ cả. Tri thức này đã được ghi sẵn trong các gen, được lập trình trong các phân tử ADN của nó. Cũng tương tự như vậy, một đàn kiến dọn tổ không phải là có "ý thức" về công việc chúng làm. Không hề có một kế hoạch nào do những kỹ sư kiến vạch ra. Kế hoạch nằm ngay trong các gen của chúng và chúng chỉ thực hiện kế hoạch đó một cách mù quáng mà thôi. Cũng như vậy, tổ chức xã hội của chúng là do bản năng quyết định (một đàn kiến giống như một siêu cơ thể gồm những kiến thợ làm việc quanh một kiến chúa).

Song ngay cả một hành vi bản năng cũng không dễ gì có thể giải thích theo quan điểm quy giản luận. Làm thế nào mà một việc đơn giản là sắp xếp lại vài phân tử trong một gen của con nhện hay con chim, lại có thể dẫn đến những hoạt động có cấu trúc và được tổ chức tinh vi như sự chăng tơ của con nhện hay sự bện tổ của con chim? Vấn đề này cũng giống như vấn đề mà ta đã gặp khi bàn luận về sự phát sinh hình thái... nhưng còn tồi tệ hơn. Trong trường hợp trước thì đây là vấn đề tổ chức không gian của những hình thái cụ

thể, trong khi ở đây lại đề cập tới những hoạt động diễn ra theo một bình diện trừu tượng. Phải chăng những điều chỉ dẫn đã được ghi một cách tuần tự trong các gen, và chúng đã được nhện hay chim "đọc", giống như máy tính đọc một chương trình đánh cờ vậy?

Sự so sánh đó có thể không hoàn toàn chính xác, bởi vì hành vi của các sinh vật, cho dù có theo bản năng, cũng chứng tỏ một khả năng thích nghi đáng kinh ngạc với môi trường mà một máy tính được lập trình không thể có được. Nếu một con nhện trong khi chăng tơ gặp một trở ngại nào đó, nó sẽ đi vòng qua để tới được đích cuối cùng. Cũng tương tự như vậy, một đàn kiến nối đuôi nhau cùng đi bỗng gặp một vật chắn ngang đường, chúng chắc sẽ bị bối rối trong giây lát, nhưng rồi chúng sẽ mau chóng điều chỉnh chiến lược để thích nghi với hoàn cảnh mới. Đương nhiên, hành vi của nhện và kiến không phải được chi phối bởi sự thực hiện một cách mù quáng và máy móc một loạt những chỉ dẫn được xác định từ trước, như trong trường hợp máy tính. Hẳn là trong cơ thể của chúng phải tồn tại những cơ chế bù trừ cho phép chúng sửa đổi hành vi để thích nghi với những điều kiện thay đổi của môi trường do các giác quan của chúng thông báo.

Trái với máy tính, một con kiến không thể được xem như một hệ thống kín, hoàn toàn cô lập. Hành vi cá thể của nó hòa nhập một cách tổng thể vào hành vi chung của cả đàn. Bản năng sinh tồn của cả đàn kiến mạnh hơn rất nhiều bản năng của một cá thể. Nếu một con ong vò vẽ lạc bước rơi vào một tổ kiến, thì nó không chỉ vấp phải sự kháng cự của một con mà của cả đàn kiến đoàn kết lại theo bản năng, để bảo vệ kiến chúa và lãnh địa của mình. Bản năng sinh tồn này của đàn kiến cùng với cấu trúc xã hội của nó mạnh đến mức chúng hành động như đội bay "Thần phong

quyết tử" của Nhật trong chiến tranh vậy; chúng không ngần ngại hy sinh để bảo vệ tổ kiến chống lại mọi sự xâm nhập hoặc mọi hiểm họa có nguy cơ gây tổn hại đến xã hội của chúng. Chắc chắn rằng cái bản năng tự bảo vệ này đã khiến cho đàn kiến đông đến như vậy trên Trái đất: chỉ tính riêng kiến trong rừng Amazôn thôi, chúng cũng đã chiếm 10% trong toàn thể khối lượng động vật tại khu rừng này, và chiếm gần một nửa trong tổng số khối lượng các loài côn trùng sống trên Trái đất. Người ta đếm được 20.000 loài kiến đã được biết đến trên hành tinh chúng ta.

Bầu trời sao trong ADN của các con chim

Một trong những thí dụ ngoạn mục nhất về hành vi bản năng của các loài vật, đó là các cuộc di trú của chim. Cái lạnh đã xua đuổi chúng đến các xứ sở có khi hậu ôn hòa và hiếu khách hơn, để rồi ngay khi mùa xuân ấm áp tới, chúng lại quay trở về, đem đến cho chúng ta những tiếng hót líu lo. Nhờ có sự hiểu biết về bầu trời và từ trường Trái đất, các con chim này có thể làm nên những kỳ tích tuyệt vời trong lĩnh vực "hàng không". Nhiều thực nghiệm đã chứng tỏ rằng đối với một số loài chim, chúng có thể bay hàng nghìn kilômét mà không chệch hướng một ly so với lộ trình đã định. Đặc biệt là trước đó chúng chưa hề bay qua chặng đường ấy, và cũng không ai huấn luyện cho chúng cả. Kỳ lạ hơn nữa là đàn chim rời xa nơi sinh sống của chúng để đi hàng trăm, thậm chí hàng nghìn kilômét, tới những nơi hoàn toàn xa lạ, nhưng khi quay trở về tổ cũ chúng hầu như bay theo một đường thẳng.

Sinh học cổ điển cho rằng cái khả năng định hướng và bay xa thiên phú này của loài chim đã được lập trình sẵn trong các phân tử ADN của chúng. Nhưng cho dù có là như vậy đi nữa, thì chúng ta cũng khó hình dung được cái cách mà một cơ thể sống có thể

diễn đạt sự sắp xếp các gen thành một hành vi đáng kinh ngạc như vậy, một hành vi có khả năng tự điều chỉnh khi đối mặt với những sự kiện bất ngờ và không được lập trình trước. Để đẩy giả thuyết này đi xa hơn đến mức phi lý, người ta có thể nói rằng: nếu đó là có thật và nếu chúng ta giải mã được các thông tin chứa trong các ADN của chim, thì về nguyên tắc chúng ta có thể tái tạo lại được toàn bộ tấm bản đồ của bầu trời! Hoặc mạnh hơn nữa, thậm chí chúng ta có thể có được cả một cuốn phim đầy đủ về bầu trời cùng với những thay đổi diễn ra trong suốt cả năm. Thực vậy, để định hướng cho mình, con chim phải tính đến những biến đổi của bầu trời do sự quay hằng năm của Trái đất quanh Mặt trời gây ra. Các chòm sao mùa hè không giống như trong mùa đông. Một nhà di truyền học thiên tài có thể học thiên văn bằng cách đó mà không cần ngước nhìn lên bầu trời. Kết luận phi lý này đã dẫn chúng ta tới giả thiết rằng có những nguyên lý mới đột sinh để can thiệp, dẫn dắt đàn chim trong chuyến bay của chúng. Những nguyên lý này không có ý nghĩa ở cấp độ thấp hơn, như cấp độ của các hạt cơ bản chẳng hạn, nhưng chúng xuất hiện ở cấp độ cao hơn, khi hệ thống vượt qua một ngưỡng nào đó của độ phức tạp. Trên mỗi bậc thang mới của tính phức tạp lại xuất hiện những quy luật tự tổ chức mới; các quy luật này không thể suy ra từ các quy luật tác động ở các trình độ thấp hơn. Thêm một lần nữa, sự giải thích thuần túy theo quy giản luận và cơ giới luận lại rơi vào thất bại.

"Tôi tư duy, vậy thì tôi tồn tại"

Nếu các hành vi bản năng khó có thể giải thích thông qua các hạt, thì vấn đề lại phức tạp theo cách khác, khi các hành vi đó được xem là do ý thức. Định nghĩa ý thức không phải là chuyện dễ. Từ điển Larousse nói rằng: "đó là sự cảm nhận, sự hiểu biết khá rõ

ràng mà mỗi người đều có đối với sự tồn tại của bản thân và của thế giới bên ngoài". Sự tồn tại của chúng ta được xác định bởi tư duy, song cũng còn bởi ký ức, bởi ý chí (cái mà chúng ta gọi là "tinh thần") và bởi tất cả những tình cảm và cảm xúc mà sự tương tác với thế giới bên ngoài đem lại cho chúng ta: yêu hay ghét, hy vọng hay thất vọng, cảm xúc về cái đẹp hay ghê tởm, niềm vui hay nỗi buồn, ... Tất cả những cái đó đều là một bộ phận của cái mà chúng ta gọi là "thân phận con người".

Sự tìm kiếm để hiểu được ý nghĩa, đối tượng và sự vận hành của tinh thần đã có từ lâu đời, nó cũng xưa như bản thân nền văn minh vậy. Triết gia Hy Lạp Aristoteles (384-322 trước CN) cho rằng: tinh thần hiện hữu ở mọi nơi trong cơ thể sống, cùng với thể xác tạo nên một thực thể duy nhất và thổi cho nó sự sống. Mọi hình thái của sự sống - con người cũng như động vật và thực vật - đều có một tinh thần; tư tưởng của Aristoteles là theo thuyết "vật linh". Song có điều lạ là Aristoteles không hề gắn tinh thần với bộ óc. Theo ông, bộ óc chỉ có chức năng điều hòa thân nhiệt! Trái tim mới là cơ quan mà ông gắn với tinh thần. Trái lại, nhà triết học Hy Lạp Platon (427-347 trước CN) lại gắn tinh thần với bộ óc. Bộ óc có dạng cầu, một dạng hình học hoàn hảo, và do đó nó được chỉ định để chứa tinh thần. Ngày nay, chúng ta vẫn còn thấy trong nền văn hóa của chúng ta những dư âm của hai quan điểm đó. Chúng ta thường gắn, ít nhất thì cũng theo cách ẩn dụ, những cảm xúc của mình với trái tim. Một cuộc tình duyên trắc trở làm "tan vỡ trái tim" ta. Tình yêu thường được thể hiện bằng một hình trái tim với mũi tên do thần Cupidon bắn xuyên qua. Ngược lại, khi nói đến những khả năng tinh thần hay trí tuệ, chúng ta lại thường gắn với bộ óc. "Một bộ não đấy", chúng ta thường nói một cách thán phục như vậy về một sinh viên thi đỗ xuất sắc qua một kỳ thi khó.

Aristoteles và Platon không phân biệt giữa tinh thần với thể xác. Cho đến tận thế kỷ thứ XVII, hai phần đó mới được tách ra khỏi nhau. Nhà triết học Pháp René Descartes (1596-1650) là người đầu tiên đã nói ra điều này một cách tường minh. Năm 1629 ông ẩn mình ở một quán trọ Hà Lan để suy ngẫm về sự huyền bí của tinh thần. Ông muốn khám phá ra một nguyên lý có thể đem lại cho ông một sự chắc chắn về tính hiện thực của cái tinh thần đó. Descartes hiểu rằng sự cảm nhận thực tại thông qua các giác quan có thể rất dễ sai lầm. Xét cho cùng, chính các giác quan cũng từng nói với chúng ta rằng: bởi vì Mặt trời mọc ở đằng Đông và lặn ở đằng Tây, nên Trái đất đứng yên ở tâm của Hệ Mặt trời, và Mặt trời cũng như các thiên thể khác đều quay quanh Trái đất... Song đến năm 1543, Copernicus đã chứng minh điều ngược lại: chính Mặt trời nằm ở trung tâm Hệ Mặt trời, còn Trái đất mới quay quanh Mặt trời. Hệ thống tư duy của Descartes dựa trên sự hoài nghi: theo ông, tất cả đều phải đặt lại thành vấn đề, bởi vì chúng ta không thể phó thác cho các giác quan, chúng có thể dẫn ta đến những sai lầm. Các vật thể đều có vẻ như thật trong khi ta mơ cũng như khi ta thức. Ai dám nói rằng cuộc đời không phải chỉ là một giấc mộng?

Nhưng đêm đó, trong căn phòng ở quán trọ, Descartes chợt nảy ra một ý. Nếu tất cả đều là đáng ngờ - căn phòng mà ông đang ở, chiếc ghế ông đang ngồi... - thì chỉ có một điều không thể nghi ngờ: đó chính là sự kiện ông đang ngờ! Khi ông đang ngờ thì ông phải tư duy, và bởi vì ông tư duy, thì ông phải tồn tại với tư cách là một thực thể đang tư duy. Việc tư duy có trước các vật thể trong thế giới bên ngoài. Descartes đã diễn đạt ý tưởng đó trong một câu nói nổi tiếng của mình: "*Cogito, ergo sum*", có nghĩa là "Tôi tư duy, vậy thì tôi tồn tại".

Bản chất kép của con người

Theo Descartes, thực tại có hai hình thái khác nhau: hình thái tinh thần (hay tư duy) và hình thái vật chất. Đó là "nhị nguyên luận" của Descartes. Tinh thần là ý thức thuần khiết, nó không trải rộng trong không gian (không có quảng tính) và cũng không thể phân chia được. Trái lại, vật chất không có ý thức, nó trải rộng trong không gian (có quảng tính) và có thể phân chia. Do đó con người có bản chất kép: nó tư duy, song nó cũng có một quảng tính vật chất, đó là thân thể nó.

Descartes nghĩ rằng thân thể là một bộ máy hoàn hảo giống như các máy tự động trong Vườn thượng uyển ở Saint Germain, Paris, đã từng làm ông mê mẩn. Trong tác phẩm "Luận về con người" xuất bản năm 1664, ông đã mô tả một khách thăm quan, khi đi dạo trong vườn thượng uyển, đạp chân lên các viên gạch lát để làm cho nước từ một bể chứa chảy ra, thông qua ống dẫn, tới làm cho máy tự động hoạt động. Hoàn toàn khác với tinh thần, bộ óc, theo ông, cũng chỉ là một thành phần của bộ máy hoàn hảo đó; bộ óc cũng vận hành theo các nguyên lý giống như nguyên lý của các máy tự động. Theo ông, các giác quan bị kích thích bởi môi trường, giống như các máy tự động được kích hoạt bởi cái đạp chân của người khách thăm quan lên các viên gạch lát. Bộ óc con người cũng có những ống dẫn, những chiếc "van" và một bể chứa "chất lỏng"; chất lỏng chảy ra dưới tác động của những kích thích đó. Còn cái tinh thần tư duy thì ở bên cạnh bể chứa, giống như một kỹ sư trưởng, trông coi cho bộ máy vận hành được trơn tru, thỉnh thoảng chính nó lại can thiệp để đóng hay mở các "van" của bộ óc. Sự tiếp xúc giữa tinh thần và thể xác được thực hiện ở một điểm trong bộ óc mà Descartes gọi là "tuyến tùng". Giống như một điểm trong toán học, tuyến này không có quảng tính không gian.

Thông qua tuyến này, tinh thần có thể đáp ứng những đam mê và tính khí của cơ thể, nhưng nó cũng có khả năng tự tách ra khỏi những thôi thúc "thấp kém" như dục vọng và thù hận, và vận hành hoàn toàn độc lập với thể xác.

Nhị nguyên luận của Descartes đã có một ảnh hưởng mạnh mẽ đến tư tưởng phương Tây. Ví dụ, bộ não và tinh thần cho đến nay, nói chung, vẫn được coi là hai thực thể khác biệt trong y học phương Tây. Khi đau đầu, chúng ta thường đến phòng khám của một bác sĩ khoa thần kinh; khi ta bị suy sụp tinh thần, người ta lại khuyên chúng ta tìm đến bác sĩ tâm thần. Chắc rằng cái hố ngăn cách đó sẽ được lấp đầy, và một cách nhìn tổng thể hơn về cơ thể và tinh thần đang có xu hướng xuất hiện dần dần trong khuôn khổ của nền y học mới. Nền y học này chữa các rối loạn chức năng của cả cơ thể lẫn tinh thần, như vậy kết hợp được cả truyền thống của y học phương Đông.

Phải chăng thế giới chỉ là tinh thần và con người chỉ là vật chất?

Nhị nguyên luận của Descartes chỉ rõ rằng tinh thần và vật chất khác biệt nhau nhưng cùng tồn tại. Cũng có những trào lưu tư tưởng khác bảo vệ các quan điểm cực đoan hơn nhiều: ở cực này có trào lưu cho rằng chỉ có các sự kiện tinh thần tồn tại, còn ở cực kia là ý tưởng cho rằng chỉ có vật chất mới tồn tại.

Quan điểm thứ nhất do giám mục người Ailen Georges Berkeley (1685-1753) bảo vệ. Ông cho rằng thế giới vật chất không tồn tại thật sự và các vật được chứa trong nó chẳng qua chỉ là những hình ảnh của tinh thần, vì Chúa là nguồn cảm nhận các kết cấu tinh thần đó. Triết lý này được gọi là "chủ nghĩa duy tâm" và bị một

người Anh tên là Samuel Johnson (1709-1784) công kích kịch liệt. Theo ông này, các vật đều tồn tại độc lập với sự cảm nhận của chúng ta. "Chỉ cần lấy chân đá mạnh vào một tảng đá là biết ngay sự tồn tại thực sự của nó!", ông nói.

Có một quan điểm đối ngược lại, đó là "thuyết hành vi". Với hy vọng muốn nâng tâm lý học thành một khoa học khách quan, trào lưu tư tưởng này ra đời từ đầu thế kỷ XX tại Mỹ, do nhà tâm lý học Mỹ John Watson (1878-1958) đề xướng. Sau đó, thuyết này lại được nhà tâm lý học Mỹ Burrlus Skinner (1904-1990) và một số người khác phát triển thêm. Thuyết này đề cao việc nghiên cứu hành vi của các sinh vật chỉ bằng cách quan sát phản ứng của chúng đối với những kích thích từ bên ngoài, xuất phát từ môi trường. Bởi vì những người theo thuyết hành vi phản bác tất cả những gì không được quan sát một cách trực tiếp, nên họ không thừa nhận sự tồn tại của tinh thần cũng như mọi hoạt động tinh thần. Do vậy, để xác định hành vi của một sinh vật sống chỉ cần biết những kích thích tác động đến nó. Tương tự như hành vi của con chó trong thí nghiệm của nhà sinh lý học Nga Ivan Pavlov, nó chảy nước dãi chỉ đơn giản vì nó nhìn thấy khúc xương; hành vi của người cũng được quy giản về một loạt phản xạ. Tất cả mọi hoạt động tinh thần không thể hiện ra bằng các hành động có thể quan sát được, chẳng hạn như suy luận, ra quyết định hay tư duy, đều không tồn tại. Như vậy, thuyết hành vi hoàn toàn mang tính quyết định luận và quy giản luận.

Động vật có tư duy không?

Con người có một vị trí riêng biệt trong sơ đồ của Descartes. Chỉ có con người mới có trí tuệ. Descartes cho rằng các loài vật

không có trí tuệ, chúng chỉ là những cái máy tự động cực kỳ phức tạp. Những nhà tư tưởng khác thì bác bỏ quan điểm này và cho rằng toàn bộ vật chất trong Vũ trụ, dù là vật chất sống hay vô sinh, đều có một ý thức. Thuyết "phiếm tâm linh" này đã được Teihard de Chardin và một số người khác bảo vệ, hay gần đây là nhà vật lý Mỹ gốc Anh Freeman Dyson (1923-). Ông này cho rằng tinh thần hiện diện ngay trong mỗi hạt của vật chất.

Việc quan sát hành vi của các con vật đối với sự tồn tại của tinh thần nói với chúng ta điều gì? Các con vật cũng có những tình cảm và những xúc động như chúng ta. Ai đã từng nhìn thấy con sư tử mẹ âu yếm đàn con đều không thể nghi ngờ về tình mẫu tử của nó. Ai đã từng nghe thấy tiếng kêu chói tai của một con chim bị con mèo săn đuổi, đều nhận thấy sự sợ hãi của nó. Ai đã từng thấy một con chó nhảy cẫng lên khi người chủ đi xa về, không thể không nghĩ rằng con chó cảm thấy vui sướng thực sự. Nhưng phải chăng các con vật đều biết tư duy, tức là biết dựng lên những hình ảnh trong trí óc chúng? Dường như chúng có khả năng nhận biết những thuộc tính trừu tượng như hình dáng hay màu sắc chẳng hạn. Song điều ít chắc chắn hơn nhiều là chúng có ý thức về bản thân và về sự tồn tại. Người ta chưa bao giờ thấy hoặc gần như không thấy một con tinh tinh - con vật gần với chúng ta nhất về mặt di truyền - vẽ được bức *La Joconde* hoặc viết được cuốn *Chiến tranh và hòa bình*.

Tinh thần xuất hiện từ sự phức tạp của bộ óc

Dưới ánh sáng của những gì đã nói ở phần trên về các nguyên lý tự tổ chức đột sinh trong các hệ thống, khi vượt qua một ngưỡng nào đó của sự phức tạp, chúng ta có thể có những tiến bộ gì hơn

trong vấn đề về mối quan hệ giữa tinh thần và thể xác? Suy cho cùng thì bộ óc là hệ thống phức tạp nhất mà Tạo hóa đã sản sinh ra. Do vậy chúng ta phải đợi những cái mà các hiện tượng đột sinh bộc lộ ở cấp độ cao hơn, với những thuộc tính (như các sóng electron trong nơron) khác với các thuộc tính của các quá trình nơron, là những hiện tượng ở cấp độ thấp hơn. Các hiện tượng đột sinh này có thể được đồng nhất với những gì được gọi là "tinh thần". Ý thức "đột sinh" từ hoạt động của nơron trong bộ não, nhưng ở trình độ cao hơn. Và một khi đã sinh ra, các trạng thái tinh thần cũng tuân theo những quy luật nhân quả riêng của nó, đó là những quy luật khác và không thể quy về các quy luật chi phối sự hoạt động của các nơron, ở trình độ thấp hơn. Những trạng thái tinh thần đột sinh, đến lượt mình, lại có thể tác động đến các nơron đã sinh ra chúng nhờ hành vi mang tính tổng thể và tập thể của chúng.

Hãy nghe Marvin Minsky, một nhà khoa học Mỹ đang nghiên cứu về trí tuệ nhân tạo nói: "Các nguyên tử trong bộ não đều bị chi phối bởi cùng những quy luật đang chi phối các hình thái vật chất khác. Nhưng liệu chúng ta có thể giải thích hoạt động của bộ não xuất phát từ những quy luật đó? Câu trả lời là không. Ngay cả khi chúng ta hiểu được mỗi một tế bào trong tổng số hàng tỷ tế bào của bộ não hoạt động riêng biệt như thế nào, thì điều đó cũng không thể cho chúng ta biết cả bộ não sẽ hoạt động ra sao với tư cách là một tổng thể. Các "quy luật tư duy" phụ thuộc không chỉ vào các tế bào cá thể của bộ não mà còn vào cách thức mà chúng nối kết với nhau nữa".

Như vậy, tâm lý học không thể quy về vật lý và hóa học. Bằng cách sao chép các phương pháp của những môn khoa học được gọi là khách quan này (mặc dù, như chúng ta đã thấy, cơ học lượng

tử đã phá hủy tính khách quan này khi dành cho người quan sát một vai trò hàng đầu trong việc sáng tạo ra thực tại), những người theo thuyết hành vi cũng đã đi tới quan niệm sặc mùi quyết định luận và quy giản luận. Nhưng điều đó không có nghĩa là tâm lý học phải vứt bỏ các quy luật của vật lý và hóa học. Các quy luật này tác động ở một trình độ khác. Tâm lý học đòi hỏi những nguyên lý bổ sung tác động ở trình độ tổ chức cao hơn.

Chúng ta có thể một lần nữa lấy lại ở đây ví dụ về máy tính đánh cờ: chương trình cho máy những lệnh cần thiết để đi các quân cờ, nhưng không có một trường hợp nào, các quy tắc chơi cờ được lập trình trong máy tính lại xung đột với các định luật vật lý chi phối sự vận hành của các mạch điện tử trong đó.

Liệu máy tính có vượt con người về trí tuệ?

Như vậy là việc nghiên cứu các quy luật của tính phức tạp và sự tự tổ chức đã soi vấn đề cũ mèm về tinh thần và thể xác dưới một ánh sáng mới. Cũng có thể là cả hai đều tồn tại hoàn toàn riêng biệt. Những quan điểm cực đoan như của chủ nghĩa duy tâm và thuyết hành vi không được chấp nhận nữa. Vật chất không chỉ là sự thể hiện của tinh thần, và việc nghiên cứu những trạng thái tinh thần của các sinh vật không thể quy giản về nghiên cứu các hạt cơ bản và các phản xạ. Song tinh thần và thể xác cũng không phải là hai thực thể tách rời nhau, như nhị nguyên luận của Descartes khẳng định. Tinh thần có thể đột sinh từ thể xác. Cái "mình" của chúng ta, với ý thức và tự do ý chí của nó, có thể xuất hiện từ tổ chức vật chất của bộ não. Nó vận hành ở một trình độ khác với trình độ khuếch trương vật chất, tức là cơ thể của chúng ta. Các quy luật tác động ở trình độ cao đó đều mới mẻ và chúng không

thể được rút ra từ các quy luật chi phối ở trình độ thấp hơn của vật chất. Tuy nhiên, chúng không mâu thuẫn với nhau.

Một vấn đề được đặt ra: nếu tinh thần xuất hiện từ tính phức tạp của bộ não, thì điều đó liệu có nghĩa là cùng với thời gian và các tiến bộ công nghệ, các máy tính sẽ vượt qua được một cái ngưỡng nào đó của tính phức tạp và chúng bắt đầu biết tư duy không? Liệu chúng có thể sẽ ý thức được sự tồn tại của mình, có thể phiêu du với tình yêu và bị dày vò bởi lòng hận thù, bị xâm chiếm bởi nỗi buồn và lòng trắc ẩn? Liệu chúng có hớn hở vui mừng khi sung sướng, hay than vãn khi đau khổ? Liệu chúng có bị dày vò bởi những vấn đề đạo đức? Liệu chúng có thể sáng tạo ra những tác phẩm văn chương bất hủ hay các bản nhạc còn mãi với thời gian? Liệu chúng có suy tư về những vấn đề triết học? Liệu chúng có thể vượt chúng ta, con người, về trí tuệ không?

Nhà toán học Anh Alan Turing (1912-1954), vào năm 1950, đã đề nghị một trắc nghiệm đơn giản để xác định sự thông minh của máy. Giả thử rằng bạn có thể nói chuyện với hai đối tượng: một là con người và một là máy tính, cả hai đều bị che kín. Nếu trong khi nói chuyện, bạn không thể phân biệt được đâu là máy tính đâu là người, thì bạn phải kết luận rằng máy tính cũng thông minh như người vậy. Alan Turing dự báo đến năm 2000, máy tính có thể nói chuyện giống như người tới mức chúng có thể lừa được người đối thoại "trung bình" ít ra là trong 30% trường hợp và đối thoại kéo dài trong 5 phút. Điều đó rất có thể là đúng. Nhưng liệu nó có thể lừa được một người đối thoại "thông minh" trong một cuộc trò chuyện kéo dài hay không?

Theo tôi, câu trả lời là không. Bộ não của chúng ta có một độ phức tạp cực kỳ cao khiến cho sự tìm hiểu về những hoạt động

của nó còn bị che kín bởi một lớp sương mù dầy đặc mà còn lâu mới xua tan được. Chúng ta không có một chút ý niệm nào về những quá trình dẫn dắt chúng ta đi đến sáng tạo, cảm nhận và yêu thương. Mặc dù đã có những tiến bộ rõ rệt của ngành não học hiện đại, nhưng chúng ta cũng chưa hiểu được trí nhớ hoạt động như thế nào, các thông tin lưu trữ ra sao và cũng chẳng biết làm thế nào để có thể lấy được những thông tin ấy ra. Chừng nào chúng ta còn chưa hiểu rõ hơn về bộ não hoạt động ra sao, thì chúng ta còn chưa thể chế tạo được những máy tính có khả năng thi đua với trí óc con người, chứ đừng nói tới chuyện vượt qua nó. Sự hiểu biết như thế về bộ não chắc là không thể có trước khi chúng ta hiểu được rõ hơn nữa về mối quan hệ giữa người quan sát và thực tại trong cơ học lượng tử. Tại sao một sự kiện chỉ xảy ra sau khi người quan sát đã ghi nhận nó trong bộ não của mình, tức là đã ý thức được nó? Nhà toán học Anh Roger Penrose đã đưa ra giả thuyết rằng: sự hiểu biết đó chỉ có thể xảy ra khi những quy luật mới của vật lý được phát hiện và chúng phải vượt ra ngoài khuôn khổ của cơ học lượng tử.

Bàn tính và máy tính

Chừng nào các máy tính chỉ là những mạch phức tạp trong đó các dòng điện chạy theo các chương trình thì chúng vẫn chỉ là những cái máy không có khả năng tư duy, cảm xúc, yêu hay ghét. Chúng bị giới hạn ở chỗ chỉ điều hành một cách mù quáng các con số nhị phân, tức là những dãy số 1 và 0, trong đó số 1 chỉ sự hiện diện của dòng điện, còn số 0 chỉ không có. Nói cách khác, máy tính chẳng qua chỉ là biến thể cực kỳ hiện đại của một dụng cụ tính toán cổ xưa có tên là “bàn tính”. Trong dụng cụ này, những

con số 1 được thể hiện bằng những hạt bằng gỗ có thể di chuyển trên những thanh kim loại (hoặc gỗ), trong khi số 0 là chỗ trống trên các thanh ấy. Thay vì các linh kiện điện tử cho phép hoặc không cho phép dòng điện chạy qua tùy theo chỉ dẫn của chương trình, ở đây trên bàn tính, người ta dùng ngón tay đẩy các hạt gỗ và để lại những khoảng trống theo các quy tắc tính rất cụ thể. Tất nhiên, năng lực tính toán của một bàn tính là rất hạn chế, bởi vì nó chỉ có một số lượng hạt gỗ và các thanh kim loại ít ỏi, và bởi thời gian cần thiết để ngón tay đẩy các hạt gỗ. Các siêu máy tính có thể tính toán cực kỳ nhanh hơn bàn tính. Tốc độ tính toán của máy tính cho phép nó giải được những bài toán mà thời gian của cả một đời người, nếu tính bằng tay, không thể làm nổi. Ví dụ, không một trí óc con người nào có thể tính số π với nhiều triệu số lẻ sau dấu phảy dễ dàng như máy tính. Không một cá nhân nào có thể thao tác với những con số khổng lồ đến thế, với một tốc độ nhanh như thế và với một độ chính xác cao như thế. Nhưng máy tính hiện cũng vẫn chỉ là một bàn tính khổng lồ mà thôi. Sự thao tác một cách máy móc với các số 1 và 0 không thể so sánh được với tư duy của con người. Nói rằng máy tính "tư duy" thì chẳng khác nào nói những hạt gỗ bàn tính cũng "suy nghĩ" ngay khi chúng được gảy để thực hiện một phép tính cộng.

Năm 1997, báo chí đã tuyên truyền ầm ĩ xung quanh chuyện Gary Kasparov một kỳ thủ bậc thầy, đã thua một máy tính có tên là *Deep Blue* sau một loạt ván cờ. Một vài nhà báo tưởng rằng mình đã được chứng kiến ở đây sự thất thế của loài người (trước máy móc). Tôi hoàn toàn không tán thành ý kiến đó. Sở dĩ máy tính đã đánh bại con người là nhờ khả năng to lớn của nó tính được trước mọi nước cờ có thể xảy ra, xuất phát từ một cấu hình ban đầu của các quân cờ. Một kỳ thủ chỉ có thể tính trước một

số nước mà thôi. Còn phần lớn là nhờ vào kinh nghiệm và trực giác mà kỳ thủ tránh được các nước đi gây bất lợi của đối thủ. Về phần mình, *Deep Blue* có thể tính trước một cách có hệ thống mọi tổ hợp khả dĩ, ít ra thì nó cũng tính trước được mười nước. Trên thực tế, nó có thể cân nhắc được 200 triệu nước đi trong một giây. Chính nhờ có khả năng kỳ diệu này mà nó đã thắng được Kasparov. Như vậy là máy tính đã vượt qua được cuộc trắc nghiệm trí tuệ mà Turing đã mô tả. Nếu không biết trước bản chất đối thủ của mình, có lẽ Kasparov cũng không thể đoán ra mình đang chơi với một máy tính. Nhưng điều này hoàn toàn không có nghĩa là *Deep Blue* đã có trí tuệ sánh được với trí tuệ của con người. Máy đã đánh thắng Kasparov một cách hoàn toàn vô thức. Thực tế, nó thậm chí còn không biết là mình đang đánh cờ, chẳng khác gì một chiếc xe hơi không hề biết là mình đang đi tới Paris. Máy tính cũng chẳng bận tâm gì đến chuyện thắng hay thua. Nó chỉ làm một cách "thú vật" và đúng như những chỉ dẫn đã lập trình sẵn trong các mạch điện tử do con người tạo ra. Ý chí thắng cuộc, sự lo âu, tức giận, căng thẳng và hối tiếc vì đã đi một nước cờ sai hoặc niềm vui đã đi được một nước cờ cao, tất cả những cảm xúc đó đều xa lạ đối với *Deep Blue*. Mặt khác, biết đâu, có thể vì Kasparov đã có tất cả những cảm xúc ấy mà ông ta mới thua cuộc? Nhưng giữa các mạch điện tử của *Deep Blue* và bộ óc của con chim biết định hướng nhờ dựa vào vị trí của các vì sao, còn có một khoảng cách rất xa, và còn cách xa hơn nữa nếu so với trí thông minh và những cảm xúc của con người. Chừng nào mà điều bí ẩn của bộ não còn chưa được làm sáng tỏ thì con đường tìm kiếm sẽ không thể đi tới đích cuối cùng, và mục tiêu của việc làm ra các máy thông minh cũng không thể đạt được.

Ý thức cộng đồng

Tinh thần và ý thức của một sinh vật cá thể chưa phải ở đỉnh cao của hình tháp tổ chức và độ phức tạp của Tự nhiên. Còn có những cái cao hơn. Thực tế, ngoài ý thức cá thể ra còn có ý thức cộng đồng, ý thức nảy sinh từ kinh nghiệm của xã hội trong tổng thể của nó. Ý thức cộng đồng là nguồn gốc của tôn giáo, của văn hóa, nó làm nên hình hài các tác phẩm nghệ thuật, văn học và khoa học, các thiết chế xã hội và chính trị. Nói theo cách của triết gia Anh-Áo Karl Popper (1902-1954) thì những thực thể trừu tượng nảy sinh từ ý thức cộng đồng này thuộc về "thế giới 3", trong khi các thế giới "1" và "2" lần lượt là thế giới của các vật thể vật chất và thế giới của các trạng thái tinh thần.

Các quy luật chi phối thế giới 3 không thể quy về các quy luật của thế giới 2, và cũng không thể dẫn tới các quy luật của thế giới 1. Chúng có những cấu trúc riêng, động lực riêng và độc lập với các quy luật chi phối hai thế giới vật chất và tinh thần. Ví dụ, sự tồn tại của một tổ chức xã hội (thế giới 3) không nhất thiết phải có mối liên hệ với một trạng thái ý thức (thế giới 2). Chúng ta đã thấy rằng xã hội loài kiến được cấu trúc và tổ chức ở trình độ cao, mặc dù hành vi của chúng đều do bản năng. Đối với một đàn ong cũng vậy. Trái với tổ chức của các loài động vật, xã hội loài người được hình thành bởi các quyết định có ý thức và có chủ định; các quy luật chi phối động lực của một xã hội con người, những quy tắc điều hành các hệ thống chính trị, kinh tế hoặc xã hội của chúng ta, không thể được suy ra từ trạng thái tinh thần của một cá thể duy nhất, càng không thể từ các định luật vật lý.

Nếu không có luật nhân quả hướng lên trên, tức là nếu các quy luật của thế giới 3 không thể được suy ra từ các quy luật của thế

giới 1 và 2, thì trái lại, có thể có luật nhân quả hướng xuống dưới, tức là các sự kiện của thế giới 3 có thể tác động đến các sự kiện của thế giới 1 và 2. Ví dụ, một sự thay đổi chính phủ, phối hợp với một chính sách mới về kinh tế và xã hội, hoặc một sự suy sụp của thị trường chứng khoán - hai sự kiện thuộc về thế giới 3 - đều có thể gây hậu quả nghiêm trọng đến trạng thái tinh thần của các công dân thuộc thế giới 2. Thế giới vật chất xung quanh họ (thế giới 1) cũng bị ảnh hưởng: ví dụ một cuộc khủng hoảng kinh tế có thể cản trở việc xây dựng một xa lộ hoặc sửa sang một sân vận động.

Qua các trang sách này, chúng ta đã thực hiện một sự thăng tiến dần theo hình tháp của sự tự tổ chức và tính phức tạp. Xuất phát từ những vật chất vô sinh, qua các sinh vật có ý thức, chúng ta đã đi tới các hệ thống kinh tế và chính trị. Phải chăng sự thăng tiến đó đến đây là kết thúc? Phải chăng với thế giới 3, chúng ta đã đạt tới đỉnh của hình tháp?

Chắc là không. Một số người cho rằng còn có một trình độ tổ chức cao hơn. Chẳng hạn những người tin vào số mệnh cho rằng còn có một quy luật cao hơn dẫn dắt diễn biến của các sự kiện đi tới một kết cục nào đó. Những người say mê chiêm tinh học thì nghĩ rằng số phận của mỗi con người đều được dẫn dắt bởi một nguyên lý vũ trụ tổng thể, được phản ánh trong sự hài hòa của bầu trời. Chính bản thân Tự nhiên, với những định luật và nguyên lý cùng với sự điều chỉnh cực kỳ chính xác của nó cho phép xuất hiện sự sống và ý thức, đã là ví dụ thâu tóm được một nguyên lý tổ chức cao hơn.

Tại sao Vũ trụ có thể hiểu được?

Trong quá trình thăng tiến không gì cưỡng nổi theo hướng ngày càng phức tạp hơn, Vũ trụ đã sản sinh ra con người có ý thức và

có trí tuệ. Những hạt bụi từ các ngôi sao đã tập hợp lại để làm bật ra tia lửa của sự sống và làm xuất hiện sinh vật có khả năng hiểu được Vũ trụ. Các nhà thơ đã ca ngợi vẻ đẹp của nó, các họa sĩ đã vẽ nên sự hài hòa của nó, nhưng đối với các nhà khoa học, họ phải vén bức màn bí mật và làm sáng tỏ một điều hết sức kỳ diệu này: đó là được sống trong một Vũ trụ lý tính, được chi phối bởi các định luật hết sức chính xác mà lý trí con người có thể nhận biết và phân tích được.

Vì sao con người có được cái khả năng thiên phú là hiểu được Vũ trụ? Xét cho cùng thì con người cũng rất có thể xuất hiện trong một Vũ trụ có tổ chức phức tạp tới mức nó vượt quá khả năng tiếp thu và lĩnh hội của con người. Ở đó con người đành phải chịu sự chi phối của các quy luật tự nhiên mà không mảy may có ý niệm gì về chúng cả. Einstein đã từng nói: "Cái khó hiểu nhất là (con người) có thể hiểu được Vũ trụ". Tuy nhiên, bằng phương pháp khoa học, ngày nay chúng ta có thể giải thích được Vũ trụ. Điều đó phải chăng chỉ là chuyện ngẫu nhiên may mắn, hay có thể coi như là đã được "lập trình" trước? Khả năng nhận biết Vũ trụ của chúng ta phải chăng chỉ là chuyện tình cờ thuần túy hay đó là một tất yếu? Các thành tựu khoa học nổi bật phải chăng cũng chỉ là một sự tình cơ đơn thuần trong tiến trình lịch sử lâu dài của Vũ trụ, hay chúng là hệ quả của mối liên hệ khăng khít giữa con người và Vũ trụ?

Để trả lời các câu hỏi trên, cần phải xem xét bản chất của các quy luật tự nhiên thiêng liêng, bất di bất dịch, và cách thức mà chúng được áp dụng cho một Vũ trụ luôn luôn tiến hóa và biến đổi không ngừng.

Cái thường hằng và cái vô thường

Khi có ý định tìm hiểu thế giới, trí tuệ con người vấp phải một sự lưỡng phân sâu sắc, sự lưỡng phân giữa cái tạm thời và cái không tạm thời, giữa cái sẽ đến và cái hiện hữu, hoặc nói theo ngôn từ nhà Phật là giữa cái thường hằng và cái vô thường. Người ta không thể phủ nhận có một yếu tố thường trực trong đời sống chúng ta. Một điều thật may mắn cho sức khỏe tinh thần của chúng ta! Chúng ta nhận ra mình trong gương mỗi sáng khi thức dậy. Có một cái gì đó bền vững trong cá tính của những người ở quanh ta. Những vật trang trí nhỏ trong phòng khách, những bức tranh làm đẹp các mảng tường, những cây xanh với ríu rít tiếng chim dưới vòm lá, những quả núi nhấp nhô phía chân trời, vành trăng rằm mỗi tháng xuất hiện một lần, mùa xuân đầy hoa lại đến mỗi năm, tất cả đều tạo ra một vẻ hầu như bất biến, thể hiện một sự ổn định tương đối trong đời sống chúng ta, và cho phép chúng ta gắn cho mỗi con người, mỗi đồ vật một diện mạo khác biệt... Tuy nhiên, trong cái vẻ gần như là bất biến ấy còn ẩn chứa một sự vô thường liên tục, một dòng chảy không dứt của những biến đổi. Những con người quanh ta không chỉ thay đổi về mặt sinh lý - như họ bị gãy một cánh tay, làn da trơn nhẵn trở nên thô ráp, mái tóc bạc dần, - mà cả về mặt tâm lý nữa. Các vật trang trí thì cái bị vỡ, cái bị sứt mẻ, màu sắc các bức tranh cũng xỉn dần, cây cối úa vàng và sự xói mòn làm cho các quả núi cũng mòn theo. Mặt trăng rồi sẽ không còn rọi ánh sáng êm dịu nữa, và mùa xuân cũng sẽ chẳng còn hoa nở khi mà Mặt trời cạn kiệt chất đốt hạt nhân trong vòng 4,5 tỷ năm nữa. Bản thân Vũ trụ cũng không ngừng tiến hóa: nó đã xuất hiện cách đây 15 tỷ năm và một ngày nào đó nó sẽ chết hoặc là trong lò lửa địa ngục khủng khiếp hoặc là trong cái lạnh băng giá. Hiện tại rồi qua đi và mờ dần vào quá khứ, trong khi tương lai đang còn phải tạo ra.

Platon là một trong số những người đầu tiên suy nghĩ nghiêm túc về cái nghịch lý căn bản đó của sự tồn tại, đó là sự lưỡng phân giữa cái nhất thời và cái không nhất thời. Từ tình trạng lưỡng phân này, ông cho rằng có hai cấp độ của thực tại. Trước hết là cái thế giới có thể nhận biết bằng giác quan, một thế giới biến đổi, phù du và hão huyền. Cái thế giới có thể cảm nhận và nhất thời này, trên thực tế, chỉ là sự phản ánh mờ nhạt của cái thế giới "đích thực", thế giới của những ý niệm vĩnh hằng và bất di bất dịch, ngự trị trong đó là các quan hệ toán học và các cấu trúc hình học hoàn hảo. Theo Platon, tất cả mọi sinh vật của thế giới cảm nhận được chỉ là những bản sao không hoàn hảo của các hình thái vĩnh cửu nằm trong thế giới của những ý niệm. Như vậy là các con chim cùng một loài đều giống nhau bởi vì tất cả chúng đều là sự thể hiện vật chất của cùng một ý niệm hoàn hảo về loài Chim. Những con chim thuộc thế giới biến đổi và phù du già đi, đau ốm và chết, nhưng ý niệm về Chim thì vĩnh hằng, bất di bất dịch và không thể thay đổi. Điều đó làm cho cùng một loài chim có thể tồn tại vĩnh cửu qua nhiều thế kỷ, bởi vì nó có thể tái vật chất hóa xuất phát từ chính ý niệm về Chim bất di bất dịch đó.

Bóng và hang

Để minh họa cho sự lưỡng phân giữa thế giới có thể cảm nhận và thế giới của những ý niệm, Platon đã đưa ra phúng dụ nổi tiếng về cái hang trong cuốn *Nền Cộng hòa* của ông. Hãy tưởng tượng có những người bị giam trong một cái hang, lưng quay ra phía cửa hang, mặt quay vào trong vách đá. Bên ngoài hang là cả một thế giới lung linh ánh sáng, sắc màu và những hình dạng, song những người bị nhốt trong hang không hay biết gì. Tất cả những gì họ

nhìn thấy chỉ là những cái bóng của các vật và các sinh vật ở thế giới bên ngoài được hắt lên vách hang. Thành thử, đối với họ thế giới của các bóng là thực tại duy nhất, vì họ không biết đến cái gì khác. Họ chỉ có thể biết rằng những cái bóng là sự phản chiếu mờ nhạt của cái thực tại đang tồn tại ngoài hang. Họ cũng chỉ có thể nhận thấy rằng nếu một trong số họ thoát khỏi xích xiềng và phiêu lưu vào thế giới bên ngoài, thì họ sẽ bị choáng ngợp bởi ánh sáng và vẻ đẹp của những người và vật được chiếu sáng bởi ánh nắng Mặt trời. Nỗi buồn xám ngắt và những đường viền mờ ảo của những cái bóng sẽ nhường chỗ cho sự sinh động của sắc màu, sự rõ nét của những đường nét trong thế giới "thực". Thế giới đó sẽ đẹp hơn và hoàn hảo hơn là thế giới của những cái bóng.

Theo Platon, thế giới có thể được cảm nhận bằng giác quan, giống như thế giới của những cái bóng, của những con người trong hang. Thế giới đó chỉ là sự thể hiện không hoàn hảo của một thế giới khác hoàn hảo, thế giới của những Ý niệm.

Sự lầm lẫn bi thảm

Câu chuyện phúng dụ của Platon về những cái bóng trong hang khiến tôi nghĩ tới một huyền thoại rất hay của xứ sở tôi, xứ sở ở phía Mặt trời mọc, nó cũng lấy đề tài coi thế giới của những cái bóng như một thế giới thực tại, một sự lầm lẫn đã dẫn tới những hậu quả bi thảm. Chúng ta hãy nghe nhà văn Phạm Duy Khiêm (1909-1974) thuật lại câu chuyện này[1]:

Ngày xưa có một cặp vợ chồng với một đứa con. Họ sống rất hạnh phúc. Thế rồi người chồng đến lượt phải đi lính đóng quân

1. Pham Duy Khiem, *Légendes des Terres sereines*, Mercure de France, Paris, 1989

tại một đồn biên ải, nơi sơn cùng thủy tận. Muốn đến đó phải qua nhiều sông nhiều suối. Việc thư từ, đi lại rất khó khăn. Người vợ ở nhà một mình nuôi dạy con. Một đêm khi đứa trẻ đang ngủ, trời bỗng nổi cơn giông. Ngọn đèn leo lét trong nhà tắt phụt. Sấm chớp nổi lên ầm ầm làm cho đứa trẻ thức giấc. Nó sợ hãi. Thấy con run rẩy, chị liền thắp ngọn bấc trên đĩa dầu rồi ôm con vào lòng, dỗ dành: Con bé bỏng của mẹ, đừng sợ. Cha con về kìa, cha sẽ che chở cho con. Vừa nói chị vừa chỉ cái bóng của mình in trên vách. Đứa trẻ chăm chăm nhìn vào cái bóng và nín ngay. Hôm sau, trước khi đi ngủ, đứa bé lại đòi thấy cha. Nhìn con vui sướng, bà mẹ lại khêu bấc làm cho bóng mình hiện lên thật rõ rồi dạy con khoanh tay nói: Con chào bố ạ! Việc làm đó cứ diễn đi diễn lại và trở thành thói quen. Tối nào hai mẹ con cũng làm như vậy.

Cuối cùng, người chồng xuất ngũ trở về nhà. Người vợ mừng rỡ đón chồng. Để tạ ơn tổ tiên đã phù hộ cho chồng mình được yên lành trở về, chị gửi con cho chồng để đi chợ, định tâm làm mâm cơm cúng tạ. Trong khi vợ đi chợ, anh chồng ở nhà trông con. Anh muốn con gọi mình bằng cha nhưng đứa trẻ từ chối, nói nó đã có cha và cha nó đêm nào cũng đến với hai mẹ con. Thấy con nói vậy, anh chồng sửng sốt tưởng mình đã bị vợ phản bội, liền giận dỗi bỏ đi, mang theo một tâm trạng đau buồn khôn xiết. Khi người vợ trở về, thấy chồng bỏ nhà bỏ cửa ra đi chẳng nói một lời, chị thấy lòng đau như cắt vì tuyệt vọng, liền nhảy xuống sông tự vẫn. Khi được tin người vợ qua đời trong đau khổ như vậy, người chồng bán tín bán nghi quay lại nhà. Tối đến anh thắp ngọn đèn, ôm con vào lòng nức nở. Đột nhiên đứa con đứng dậy chắp tay cúi chào cái bóng của chính anh trên vách: Con chào bố ạ. Lúc đó anh mới nhận ra sai lầm bi thảm của mình, nhưng đã quá muộn...

Một linh hồn bất tử

Bởi vì có hai cấp độ thực tại cho nên con người, theo Platon, cũng có hai bản chất. Nó có một cơ thể vật chất, cơ thể ấy thay đổi, già đi cùng với thời gian, nhờ đó con người tiến hóa và liên hệ với thế giới không hoàn hảo và vô thường của các giác quan. Song con người cũng có một linh hồn bất tử được thiên phú cho một lý trí có thể đi tới thế giới hoàn hảo và thường hằng của các Ý niệm. Linh hồn có trước thể xác, nhưng ngay khi nhập vào thân xác con người, nó quên mất rằng nó đã từng có mối liên hệ với thế giới của các Ý niệm. Linh hồn càng phát hiện ra các hình thái tự nhiên của thế giới cảm quan - một cây trắc bách diệp, một bông hồng, một con ngựa, một đứa trẻ - thì một ký ức mơ hồ và xa vời về thế giới của các Ý niệm càng được khơi dậy trong lòng nó. Con người hiểu rằng bông hoa ta ngắm nhìn chỉ là sự thể hiện không hoàn hảo của ý niệm về một bông hoa hoàn hảo mà thôi. Do đó mà có nỗi hoài niệm thường xuyên về cái Hoàn hảo và khát vọng cháy bỏng của tâm hồn muốn quay lại thế giới hoàn hảo, nơi ở đích thực của mình. Nếu giống như đứa con trong câu chuyện cổ của Việt Nam, chúng ta coi cái bóng là cái thực tại và dừng lại ở đó, thì chúng ta đã cưỡng bức điều mong muốn sâu sắc đối với sự hoàn hảo của tâm hồn bất tử của chúng ta.

Tính hai mặt của thế giới dẫn đến tính hai mặt của Đấng tối cao. Trong thế giới các Ý niệm ngự trị cái Thiện vĩnh cửu, bất di bất dịch, tồn tại ngoài không gian và thời gian. Trong thế giới các cảm giác, Tạo hóa nhào nặn vật chất theo những chương trình của thế giới các Ý niệm. Người ta luôn cầu xin sự phù hộ của Ngài, bởi vì thế giới vật chất không ngừng bị xói mòn và xuống cấp, nó cần đến sự can thiệp không ngừng của Đấng tối cao. Trong khi viện

đến hai Đấng tối cao, Platon không nhằm giải quyết vấn đề lưỡng phân sâu sắc giữa thế giới luôn đổi thay của kinh nghiệm và thế giới của những Hình thái bất tử. Ông hài lòng tuyên bố rằng thế giới luôn thay đổi của các cảm giác là hão huyền, chỉ có thế giới của các Ý niệm là vĩnh cửu.

Thời gian và vĩnh cửu

Triết gia Hy Lạp Aristoteles (384-322 trước CN), môn đồ của Platon, cũng không có ý định giải quyết nghịch lý thời gian và vĩnh cửu. Ông cũng dứt khoát đứng về phái cho rằng chỉ có một thế giới duy nhất, nhưng trái với Platon, ông chọn thế giới vật chất và hoàn toàn bác bỏ thế giới những Ý niệm của Platon. Như chúng ta đã thấy, Aristoteles đề xuất một Vũ trụ động và luôn phát triển, giống như một bào thai, luôn hướng tới một mục đích cuối cùng đã được định trước. Các sinh vật đều có một tâm hồn để dẫn dắt chúng đi tới đích mong muốn. Nhưng trái với những điều mà Platon tâm đắc, linh hồn không phải là cái gì siêu việt ở ngoài thể xác con người, mà nó nằm ngay ở trong đó. Sự phân chia không phải diễn ra ở cấp độ thế giới các cảm giác và thế giới tâm linh, mà là giữa Trời và Đất. Trái đất là lãnh địa của cái không hoàn hảo, của sự hao mòn và cái chết, trong khi Trời là lĩnh vực của cái hoàn hảo, cái vĩnh cửu và bất di bất dịch. Tại đó các thiên thể vạch ra các quỹ đạo tròn và bất biến, vì hình tròn là hình kỷ hà học hoàn hảo nhất.

Saint Augustin (354-430), một giám mục ở Hippone, đã vứt bỏ ý niệm về Tạo hóa nhưng lại tiếp nhận ý tưởng của Platon về một Đức Chúa ở ngoài thời gian. Ở đây có vấn đề thần học liên quan đến giáo lý của đạo Cơ đốc. Làm sao một Đức Chúa ở ngoài thời gian lại có thể đau đớn và chết trong trạng thái bị đóng đinh câu

rút là những sự kiện dứt khoát phải nằm trong thời gian? Cuộc tranh luận còn diễn ra gay gắt hơn vào thế kỷ XIII, khi mà Thánh Thomas d'Aquin (1225-1274) trong lúc lấy lại ý tưởng của Platon về một Thượng đế tồn tại ngoài thời gian và không gian đã có ý định chứng minh một cách lôgic, theo cách chứng minh toán học, rằng Thượng đế tất phải có một tập hợp những phẩm chất như sự hoàn hảo, tính giản dị, tính vĩnh hằng, sự thông tuệ và toàn năng. Nhưng ở đây lại nảy ra vấn đề phải dung hòa một Thượng đế ngoài thời gian với một Thượng đế nhân từ và lắng nghe những lời cầu nguyện của chúng ta trong thời gian.

Rồi tới thế kỷ XVI và XVII. Khoa học được sinh ra ở miền Nam Châu Âu đã đạt tới đỉnh điểm với các thành tựu của nhà vật lý người Ý Galileo (1564-1642), cha đẻ của phương pháp thực nghiệm trong vật lý; rồi đến những thành tựu của nhà vật lý người Anh Isaac Newton, tác giả của lý thuyết hấp dẫn. Thế giới của những giác quan từ đây chiếm một địa vị ưu thắng. Phương pháp khoa học bây giờ dựa trên sự quan sát chính xác và sự đo lường định lượng của các hiện tượng tự nhiên. Tự nhiên được coi là duy lý, nó tuân theo các định luật vĩnh cửu và bất di bất dịch, đồng thời những định luật ấy chính là sự phản ánh của Thượng đế. Chúng ta lại tìm thấy ở đây bóng dáng của Thượng đế bất di bất dịch và vĩnh cửu, luôn tiến hóa trong thế giới những Ý niệm của Platon, và của Thượng đế ngoài thời gian và không gian của Thánh Thomas d'Aquin. Sự lưỡng phân giữa cái trong thời gian và cái ngoài thời gian lại trở nên gay gắt. Thượng đế vốn ở ngoài thời gian lại được thể hiện dưới hình thái những sự kiện ở trong thời gian của Tự nhiên. Vật lý học Newton mô tả một thế giới biến đổi và tiến hóa theo thời gian: một quả táo rụng trong vườn, Mặt trăng quay quanh Trái đất, thủy triều của các đại dương khi lên khi

xuống. Nhưng các định luật mô tả chúng thì bất di bất dịch, không thay đổi. Đó là vấn đề "mũi tên thời gian" trong vật lý, cho đến nay vẫn còn là vấn đề thời sự: làm thế nào mà các quy luật ngoài thời gian lại có thể mô tả các sự kiện trong thời gian?

Để nhận được những yếu tố của câu trả lời, chúng ta cần phải xem xét chính bản chất của các định luật vật lý đó.

Các định luật của Tự nhiên

Từ điển Petit Larousse giải thích rằng định luật là "một mệnh đề tổng quát ghi nhận những mối quan hệ tất yếu và không đổi giữa các sự kiện khoa học". Nói "những mối quan hệ tất yếu và không đổi" tức là nói đến "tính quy luật". Cách đây hàng chục nghìn năm, tổ tiên chúng ta đã ý thức được "tính quy luật" này. Những dãy đài đá và thạch mộ lớn ở Stonehenge nước Anh, xếp theo hướng Mặt trời lặn và mọc ở một vài thời kỳ nào đó trong năm, đã chứng minh điều đó. Bằng trực giác, tổ tiên xa xưa của chúng ta đã hiểu rằng ném một hòn đá theo cách nào đó có thể cho phép họ ném trúng và giết chết con mồi mà họ thèm muốn. Song có rất nhiều hiện tượng Tự nhiên đối với họ còn đầy bí hiểm và không thể dự báo trước được. Con người sống ăn lông ở lỗ gọi các hiện tượng đó là những thần linh: thần Mặt trời soi sáng Trái đất ban ngày và dành cho thần Mặt trăng soi sáng Trái đất ban đêm. Thần Mưa tuôn nước xuống nuôi dưỡng các thần Sông ngòi. Thế giới các thần linh là tấm gương phản chiếu thế giới con người, nó cũng bị thôi thúc bởi chính những dục vọng và những xung năng ấy. Nó rất đơn giản, quen thuộc theo chiều kích của con người.

Tính quen thuộc và sự ngây thơ này mất dần cùng với sự tích lũy kiến thức của con người, và cách đây khoảng 10.000 năm, thế

giới thần linh của con người nhường chỗ cho thế giới thần thoại siêu phàm. Thần linh biến mất khỏi các vòm cây, khóm hoa và các dòng sông, để nhường chỗ cho các thần đầy quyền lực. Tất cả mọi hiện tượng tự nhiên kể cả sự sáng thế, từ nay đều trở thành hậu quả của những toan tính, tình yêu và giao hợp, hận thù và sự xâu xé lẫn nhau giữa các thần đó. Tuy nhiên, ở ngay giữa Vũ trụ thần thoại này, vào thế kỷ thứ VI trước CN, đã xuất hiện sự thần kỳ Hy Lạp, gieo mầm cho một vũ trụ khoa học như chúng ta ngày nay đều biết. Thời đó người Hy Lạp đã có một ý tưởng cách mạng cho rằng các sự kiện tự nhiên không phải là lĩnh vực riêng của các thần; mà lý trí con người cũng có thể hiểu được chúng. Họ chú mục một cách tò mò và soi mói đến các đề tài khác nhau, như cấu trúc của vật chất, những hiện tượng sinh học, địa chất học và khí hậu học, bản chất của thời gian, hình học và toán học. Nhưng khái niệm "quy luật tự nhiên" như ngày nay chúng ta hiểu thì vẫn chưa hình thành.

Aristoteles giải thích hoạt động của một hệ thống tự nhiên không phải bằng các quy luật mà bằng mục đích cuối cùng. Theo ông, các hệ thống tự nhiên cũng giống như các sinh vật đều hành động nhằm thực hiện một mục đích nhất định. Chúng đều có một hành vi mang tính "mục đích luận". Aristoteles đã xây dựng một hệ thống khá hoàn chỉnh về tính nhân quả, bằng cách phân biệt bốn loại nguyên nhân khác nhau: nguyên nhân vật chất, nguyên nhân hình thức, nguyên nhân hiệu quả và nguyên nhân cuối cùng. Ví dụ, để trả lời câu hỏi " Tại sao trời mưa?", nhà hiền triết Hy Lạp không trả lời một cách đơn giản như một nhà khí tượng ngày nay, rằng trời mưa là vì không khí, khi bị lạnh đi gây ra sự ngưng tụ hơi nước trong khí quyển thành những giọt nước nhỏ, rơi xuống mặt đất dưới tác dụng của lực hấp dẫn. Ông phân biệt nguyên nhân vật chất là tạo ra các giọt nước, nguyên nhân hiệu quả làm cho hơi

nước ngưng tụ thành các giọt mưa, và nguyên nhân hình thức làm cho các giọt nước rơi xuống mặt đất. Nhưng thay vì viện đến lực hấp dẫn của Trái đất để giải thích việc các giọt nước rơi xuống mặt đất, Aristoteles lại viện ra nguyên nhân cuối cùng: các giọt mưa rơi xuống mặt đất bởi vì cây cỏ và các loài động vật cần đến nước để sống và tăng trưởng.

Hệ thống nhân quả của Aristoteles cũng có thể minh họa bằng việc xây nhà: các vật liệu dùng để xây nhà (như gạch, ngói, xi măng...) là nguyên nhân vật chất. Nguyên nhân hiệu quả là người thợ nề tập hợp tất cả các vật liệu đó để xây lên cái nhà. Nguyên nhân hình thức là hình dáng và cách sắp xếp ngôi nhà. Và nguyên nhân cuối cùng là bản thiết kế của nhà kiến trúc mà người thợ xây theo đó để dựng lên ngôi nhà. Mỗi vật thể trong tự nhiên đều hoạt động nhằm thực hiện một mục đích đã được xác định từ trước. Các trái quýt, trái cam chín vàng là để cho con người ăn. Trời mưa là để cho các dòng sông không bị cạn khô. Cũng tương tự như thế đối với chuyển động của các vật thể vật chất: một hòn đá rơi xuống đất, vì Trái đất là nơi ở tự nhiên cho các vật nặng. Khói bay lên trời là bởi vì chỗ ở tự nhiên của nó là ở vùng thanh cao bên ngoài bầu trời. Các "quy luật" của Aristoteles không gì khác là những mô tả khá đầy đủ về cách thức mà nguyên nhân cuối cùng vận hành. Mỗi vật thể đều có những đặc tính riêng và tính phức tạp của thế giới được thể hiện thành tính đa dạng và muôn màu muôn vẻ, không có giới hạn của các đặc tính đó. Khái niệm "quy luật" rất quen thuộc với chúng ta ngày nay, đã xuất hiện cùng với sự ra đời của các tôn giáo thờ một thần như đạo Thiên chúa và đạo Hồi. Thượng đế trở thành độc lập, tách biệt khỏi sự Sáng thế. Các quy luật không phải là cố hữu của các hệ vật lý, mà nó được áp đặt từ bên ngoài bởi Đấng tối cao. Tự nhiên trở thành một lãnh địa được

cai quản bởi các sắc luật của Thượng đế. Cái "nhân" không còn được chứa trong chính bản thân vật thể nữa, mà nó liên hệ với cái "quả" bởi các quy luật vật lý có nguồn gốc từ Thượng đế.

Sự chấp nhận khái niệm quy luật được áp đặt từ bên ngoài bởi Thượng đế không phải là hoàn toàn suôn sẻ, không gặp trở ngại gì. Cho đến thế kỷ XIII, Thánh Thomas d'Aquin vẫn là người bảo vệ khái niệm đó của Aristoteles về các xu hướng bẩm sinh trong các hệ thống vật lý do một Thượng đế gán cho. Song quan niệm này đã bị bác bỏ mạnh mẽ bởi Tổng giám mục Paris vào năm 1277, và ý tưởng về một Thượng đế sáng tạo và ban phát các quy luật đã được áp đặt.

Khi khoa học hiện đại xuất hiện ở giữa lòng của khu vực miền Nam Châu Âu, những nhà khoa học đầu tiên đã làm việc với niềm tin rằng trật tự và tính quy luật của Tự nhiên phản ánh một bản thiết kế rộng lớn của Thượng đế, và họ ca ngợi sự vinh quang của Thượng đế khi phát hiện ra bản thiết kế đó.

Chẳng hạn, Nhà thiên văn Đức và cũng là người sùng tín cỡ lớn Johannes Kepler đã tìm kiếm sự hoàn hảo của Thượng đế trong chuyển động của các hành tinh. Đối với nhà vật lý Anh Isaac Newton thì Vũ trụ là một bộ máy khổng lồ được điều khiển một cách cực kỳ chính xác bởi một Thượng đế kỹ sư và duy lý. Vũ trụ hoạt động như một chiếc đồng hồ có dây cót mà ta có thể lên dây. Tuy nhiên, đã có nhiều ý kiến khác nhau nổi lên về vai trò dành cho Thượng đế: một khi đồng hồ đã được lên dây cót thì liệu bộ máy tự nó có thể vận hành và Thượng đế, do không còn việc gì để làm nữa, có rút lui ra tít xa không? Hay là cú hích nhẹ của Thượng đế cho Vũ trụ ở buổi ban đầu của nó còn chưa đủ, nên Vũ trụ vẫn còn cần phải có sự can thiệp thường xuyên? Newton thuộc số những người ủng hộ ý kiến thứ hai. Ông nghĩ (và đã nghĩ sai

theo những điều mà chúng ta biết hiện nay) nếu không có sự can thiệp liên tục của Thượng đế, thì lực hấp dẫn chắc đã làm cho Vũ trụ co mạnh lại như một khối lượng, nhưng điều này chưa bao giờ được quan sát thấy. Người cùng thời với Newton, một triết gia kiêm nhà toán học Đức Gottfried Leibnitz (1646-1716) thì nghĩ ngược lại. Ông nhấn mạnh rằng ý tưởng về một Thượng đế không có khả năng xây dựng một bộ máy tự vận hành là điều thậm vô lý. Đối với Leibnitz cũng như đối với nhà triết học và toán học René Descartes, Thượng đế là nguồn và cũng là sự bảo đảm cho toàn bộ tính hợp lý trong Vũ trụ, tính hợp lý cho phép lý trí con người - cũng là do Thượng đế ban cho - hiểu được Vũ trụ.

Bởi vì bộ máy, một khi đã được lên dây cót, nó có thể tự vận hành, nên Thượng đế rút lui ngày càng xa dần. Lý trí con người ngự trị như một sức mạnh tối thượng và đẩy đức tin xuống hàng thứ hai. Cho tới ngày Thượng đế không còn cần thiết nữa. Vào cuối thế kỷ XVIII, khi Napoleon Bonaparte trách cứ ông về việc không một lần nào nhắc đến Nhà kiến trúc vĩ đại trong tác phẩm *Cơ học thiên thể* của mình, hầu tước Pierre Simon de Laplace đã trả lời rằng: "Tâu hoàng thượng, thần không cần đến giả thuyết ấy!". Kể từ đó khoa học và tôn giáo không ngừng tách xa nhau. Ngày nay, đại bộ phận các nhà khoa học nghiên cứu tính quy luật của Tự nhiên, mà họ gọi là các "định luật", đều không đặt ra câu hỏi về nguồn gốc của chúng, ít ra là một cách công khai.

Tại sao khoa học lại nảy sinh ở phương Tây?

Là nơi thấm nhuần quan niệm cơ đốc giáo về một Thượng đế được thể hiện trong tính hợp lý của Tự nhiên và cũng là nơi luật dân sự thấm sâu trong đời sống xã hội, nên Nam Âu là miếng đất

đặc biệt màu mỡ cho sự xuất hiện ý tưởng về các quy luật tự nhiên và do đó cho sự xuất hiện của khoa học.

Người ta có thể tự hỏi: tại sao khoa học lại không xuất hiện ở Trung Quốc, nơi có nền văn hóa lâu đời, tương đối phát triển, phong phú và đa dạng, và về phương diện công nghệ, tiến bộ hơn so với phương Tây trong nhiều lĩnh vực (ví dụ người Trung Quốc đã phát minh ra thuốc nổ và la bàn trước người Châu Âu). Tôi nghĩ rằng lý do nằm ngay trong quan niệm của người Trung Quốc về Tự nhiên. Đối với họ, thế giới tự nhiên không phải do Thượng đế sáng tạo ra và ban phát các quy luật; mà thế giới tự nhiên, theo họ, được sinh ra là do tác động tương hỗ và năng động của hai lực âm và dương. Bởi vì khái niệm quy luật của Tự nhiên không được đặt ra, cho nên người Trung Quốc không bỏ công tìm kiếm làm gì!

Mặt khác, người Trung Quốc có một quan niệm tổng thể về Tự nhiên, trong đó mỗi bộ phận tương tác với một bộ phận khác, tạo thành một tổng thể hài hòa hơn là phép lấy tổng đơn giản của các bộ phận riêng rẽ. Quan điểm tổng thể đó không tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển ý tưởng, theo đó, trong thời kỳ đầu tiên, Tự nhiên có thể được phân chia làm nhiều bộ phận, đồng thời mỗi bộ phận được nghiên cứu riêng biệt, độc lập với nhau. Ý tưởng này cũng là nền tảng của phương pháp quy giản luận, nó cho phép xây dựng nên một phần lớn của khoa học phương Tây. Theo người Trung Hoa, sẽ không thể có khoa học nếu chúng ta chỉ hiểu một phần nhỏ của Vũ trụ mà không hiểu được tổng thể của nó.

Đương nhiên, cách tiếp cận thuần túy quy giản luận không phải là tiếng nói cuối cùng. Chúng ta đã biết rằng các hệ thống được xem xét trong tổng thể của chúng có những thuộc tính "đột sinh", mà ta không thể suy ra từ việc nghiên cứu các thành phần riêng rẽ. Ví dụ chúng ta không thể suy ra sự sống từ việc nghiên cứu các

hạt cơ bản vô sinh. Nhưng cách tiếp cận tổng thể không hề loại trừ cách tiếp cận quy giản luận; chúng bổ sung cho nhau, và cả hai đều giúp chúng ta khám phá những bí mật của Tự nhiên.

Tuy nhiên vẫn còn một vấn đề: làm thế nào chúng ta có thể hiểu được một bộ phận nhỏ bé của Tự nhiên mà chưa hiểu cái toàn thể của nó?

Tại sao phương pháp quy giản luận lại có thể tiến hành được?

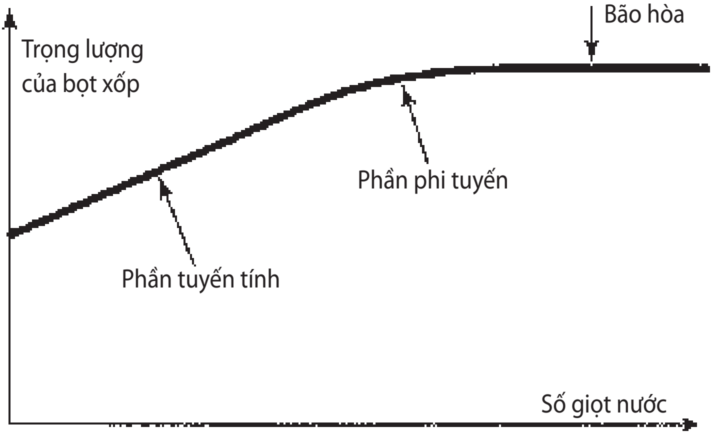
Chúng ta có thể sống rất tốt trong một Vũ trụ, trong đó mỗi hiện tượng vật lý, tại một nơi xác định, đều gắn kết chặt chẽ với phần còn lại của Vũ trụ tới mức ta không thể nghiên cứu và hiểu được hiện tượng đó nếu như không hiểu được toàn thể Vũ trụ. Tất cả đều chồng chéo lên nhau, đến nỗi việc rút ra những quy luật đơn giản cũng không thể làm được. Sự hiểu biết của chúng ta về Vũ trụ phải là sự hiểu biết về toàn thể hoặc chẳng là gì hết. Nhưng khoa học cho phép chúng ta chỉ nắm bắt những mẩu thông tin mà không biết gì về lịch sử của toàn thể, tựa như chúng ta chỉ cảm nhận được một vài nốt nhạc chứ không lĩnh hội được toàn bộ giai điệu. Điều bí hiểm lại càng lớn hơn nữa, vì theo những chỉ dẫn mà chúng ta có được, Vũ trụ hợp thành một tổng thể liên kết chặt chẽ với nhau. Sự rơi của quả táo trong vườn, về nguyên tắc, được quyết định không chỉ bởi lực hấp dẫn của Trái đất, mà còn bởi lực hấp dẫn của Mặt trăng, Mặt trời và các hành tinh khác. Thí nghiệm Einstein-Podolsky-Rosen đã chứng tỏ rằng thực tại của các hạt cơ bản không phải là cục bộ mà là toàn cục. Hai hạt tương tác với nhau rồi tách ra xa nhau. Nếu bạn gây nhiễu cho một hạt, thì hạt kia lập tức cũng cảm nhận thấy ngay, cho dù nó có ở tận đầu kia của Vũ trụ.

Tuy nhiên, mặc cho tính toàn cục và tính liên hệ nhằng nhịt lẫn nhau đó của Vũ trụ, mặc dù rất nhiều nhà vật lý có niềm tin sắt đá rằng một ngày nào đó các nguyên lý vật lý sẽ hội tụ thành một lý thuyết của vạn vật, nhưng phương pháp quy giản luận vẫn cứ vận hành một cách rất hiệu quả. Nó cho phép chúng ta tiến lên từng bước, cho phép lắp ghép miếng nọ tiếp nối miếng kia của cái trò chơi ghép hình hóc búa, mà không hề biết cái hình tổng thể cần phải ghép là như thế nào. Điều đó thật là may mắn cho tôi, bởi vì để nghiên cứu vật lý thiên văn, tôi chẳng cần phải giải quyết cùng một lúc toàn bộ mọi vấn đề của Vũ trụ!

Tại sao quy giản luận vẫn có tác dụng? Câu trả lời nằm trong hai tính chất của một số hệ vật lý. Tính chất thứ nhất được gọi là "sự tuyến tính". Một hệ vật lý được gọi là "tuyến tính" khi toàn bộ đúng bằng tổng của các thành phần. Không hơn không kém. Trong một hệ như vậy, tổng của các "nhân" tạo ra tổng tương ứng của các "quả", và chỉ cần nghiên cứu một cách riêng rẽ hành vi cá thể của các thành phần rồi cộng chúng lại để rút ra hành vi của toàn bộ.

Để hiểu được một hành vi tuyến tính, chúng ta hãy xét một miếng bọt xốp được đặt dưới một vòi nước (H. 58). Lúc đầu trọng lượng của miếng bọt xốp ngấm nước tỷ lệ thuận với số lượng giọt nước mà nó đã hút. Trọng lượng của miếng bọt xốp tăng gấp đôi khi nó hút các giọt nước hai lần nhiều hơn, và gấp ba khi nó hút ba lần nhiều hơn. Mối liên hệ giữa trọng lượng của miếng bọt xốp và số lượng các giọt nước là tuyến tính (sở dĩ có thuật ngữ này là vì nếu trong một hệ tọa độ, ta đặt số các giọt nước bị hút theo trục hoành và trọng lượng tương ứng của miếng bọt xốp theo trục tung, thì bạn sẽ có một dẫy các điểm nằm trên cùng một đường thẳng). Song hành vi của miếng bọt xốp sẽ thay đổi khi nó đã hút quá nhiều nước. Khả năng hút nước của nó sẽ giảm dần cho đến

khi bằng không. Trọng lượng của miếng bọt xốp không còn tăng theo tỷ lệ thuận với số các giọt nước rơi từ vòi xuống nữa. Từ tuyến tính, hành vi của miếng bọt xốp trở thành phi tuyến. Cuối cùng, trọng lượng của miếng bọt xốp giữ nguyên không thay đổi, vì nó không thể hút thêm nước được nữa. Nó đã bão hòa.



Hình 58. *Miếng bọt xốp và các giọt nước*. Ban đầu, trọng lượng của miếng bọt xốp tăng tỷ lệ với số giọt nước mà nó hút. Mối quan hệ này được gọi là tuyến tính, vì nó được biểu diễn bởi một đường thẳng trên đồ thị trong hình trên. Khi miếng bọt xốp bắt đầu bão hòa, nó không có khả năng hút toàn bộ số nước rơi xuống nó nữa và mối quan hệ bây giờ là phi tuyến. Hệ phi tuyến có thể bộc lộ những hành trạng rất phức tạp và không thể tiên đoán được, và do đó sẽ trở nên hỗn độn.

Khi đi thăm bảo tàng có quá nhiều tác phẩm nghệ thuật, chúng ta cũng đã trải qua chính các giai đoạn như thế. Lúc đầu, hứng thú thẩm mỹ mà ta nhận được tỷ lệ thuận với số các bức tranh được xem. Lúc đó chúng ta ở chế độ tuyến tính. Nhưng rồi càng xem nhiều tranh, hứng thú càng giảm đi và chúng ta chuyển sang chế độ phi tuyến. Cho đến khi chúng ta không còn cảm thấy thích thú nữa: khi đó chúng ta đã bị “bão hòa” về hội họa.

Một Vũ trụ có thể hiểu được

Những thành công ngoạn mục của vật lý do phương pháp quy giản luận mang lại trong suốt ba thế kỷ qua đều là nhờ các nhà vật lý đã biết tách ra xét riêng các hiện tượng vật lý có hành vi tuyến tính. Chừng nào còn ở chế độ này thì các hệ thống đều có thể được "phân tích", tức là được hiểu trong tổng thể của nó, xuất phát từ việc nghiên cứu các thành phần cấu tạo nên hệ đó. Ví dụ các trường điện và từ có hành vi tuyến tính. Điện trường của một hệ gồm hai electron là tổng của hai điện trường gây bởi mỗi electron riêng rẽ.

Những thành công này của vật lý tuyến tính và quy giản luận đã gây ấn tượng mạnh mẽ đến mức chúng tạo ra quan niệm sai lầm rằng thế giới chủ yếu được cấu tạo bằng các hệ tuyến tính. Thực tế, các hiện tượng vật lý hầu như đều trở thành phi tuyến khi vượt ra ngoài một ngưỡng dung sai nhất định; tựa như miếng bọt xốp hút quá nhiều nước, hoặc như người khách thăm quan một viện bảo tàng trưng bày quá nhiều tranh. Khi đó, các hệ này không thể phân tích được nữa, bởi vì cái toàn thể đã lớn hơn tổng của các bộ phận cấu thành. Cái "quả" không còn tỷ lệ với cái "nhân" nữa. Các hệ thống hỗn độn đều là những hệ phi tuyến ở mức cao nhất. Như chúng ta đã thấy, các hệ này cực kỳ nhạy cảm với cả những loại nhiễu động yếu nhất. Cái "quả" trở nên lớn quá mức so với cái "nhân" và không thể dự báo trước được. Thật chẳng khác nào một con chuột đẻ ra cả một trái núi, một cái đập cánh của con bướm ở Mêhicô có thể gây ra bão tố ở Paris...

Tính có thể chia tách của thế giới

Không có một hệ thống vật lý nào hoàn toàn là tuyến tính. Ngay cả quỹ đạo của các hành tinh mà người ta tin là bền vững

và không thay đổi, nhưng thực ra chúng có thể nổi loạn bất cứ lúc nào. Tuy nhiên, nếu như vậy thì tại sao toàn bộ thế giới lại không hoàn toàn hỗn độn? Tại sao mặc dù có quá nhiều các hiện tượng phi tuyến, chúng ta vẫn có thể tách riêng ra rất nhiều các hệ vật lý có tính chất tuyến tính và có thể tiên đoán được, và từ đó làm nên khoa học?

Lý do không phải chỉ vì tính chất tuyến tính của một vài hệ thống trong đó cái "quả" tỷ lệ thuận với cái "nhân", mà còn vì một tính chất thứ hai đặc trưng cho các hệ đó và có tên là tính "cục bộ" hay tính "định xứ". Một hệ thống vật lý được gọi là "cục bộ" hay "định xứ" khi hành vi của nó chỉ phụ thuộc vào các lực và các ảnh hưởng trong phạm vi trực tiếp ở gần nó. Những ảnh hưởng có tính chất toàn thể, như trường hợp các hạt cơ bản trong thí nghiệm Einstein-Podolsky-Rosen, bị loại trừ. Đó cũng là trường hợp khi các lực và các ảnh hưởng có tầm tác dụng rất nhỏ, hoặc cường độ rất yếu, hoặc cả hai. Tầm tác dụng của các lực cơ bản của Tự nhiên nói chung là nhỏ. Lực hạt nhân mạnh chỉ tác dụng trong phạm vi hạt nhân nguyên tử (10^{-13}cm), trong khi đó tầm tác dụng của lực hạt nhân yếu chỉ ở thang kích thước các nguyên tử (10^{-8}cm). Tầm tác dụng của các lực điện từ và hấp dẫn lớn hơn, nhưng cường độ của chúng lại giảm tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai điện tích hoặc hai khối lượng. Khi khoảng cách giữa hai điện tích hoặc hai khối lượng tăng lên 10 lần, thì lực điện từ giữa hai điện tích hoặc lực hấp dẫn giữa hai khối lượng sẽ giảm 100 lần. Đặc điểm này luôn làm cho tính cục bộ của các lực được bảo đảm. Ảnh hưởng của các lực tại một điểm đã cho đến từ môi trường gần kề, chứ không phải từ Vũ trụ xa xôi. Chẳng hạn ảnh hưởng do lực hấp dẫn của Mặt trăng, Mặt trời và các thiên thể khác tác dụng

đến quả táo rụng trong vườn là vô cùng bé so với lực hấp dẫn của Trái đất.

Cường độ của các lực trong Tự nhiên phụ thuộc vào khoảng mười lăm con số được gọi là các "hằng số vật lý". Ví dụ cường độ của lực hấp dẫn phụ thuộc vào hằng số hấp dẫn rất bé (chỉ cỡ $6{,}67.10^{-11}$ trong hệ đơn vị SI). Chúng ta có thể đo được các hằng số vật lý một cách cực kỳ chính xác trong phòng thí nghiệm, nhưng hiện nay chưa có một lý thuyết nào cho phép giải thích được vì sao chúng lại có đúng các giá trị đo được đó. Các hằng số vật lý đã được "ban cho" chúng ta từ khi Vũ trụ ra đời. Chúng đã được điều chỉnh một cách cực kỳ chính xác để Vũ trụ có thể tiếp nhận sự sống và ý thức (sự điều chỉnh rất tinh vi này, như đã biết, được gọi là "nguyên lý vị nhân"), nhưng đồng thời cũng để cho Vũ trụ có thể được tách ra thành các thực thể khác nhau mà ta có thể nghiên cứu một cách riêng biệt bằng phương quy giản luận.

Một câu hỏi được đặt ra: làm thế nào mà vũ trụ vĩ mô lại có thể thoát khỏi sự nhòe lượng tử và mối quan hệ lẫn nhau chằng chịt mang tính tổng thể vốn là đặc trưng của thế giới nguyên tử? Bởi vì, xét cho cùng, chính cái vô cùng bé đã sinh ra cái vô cùng lớn. Trong buổi đầu của lịch sử Vũ trụ, khi còn cực kỳ nhỏ bé, chắc chắn Vũ trụ đã phải tuân theo các quy luật của cơ học lượng tử với sự mờ nhòe gắn liền một cách cố hữu với nó. Vậy thì tại sao quỹ đạo của Mộc tinh lại không bị nhòe như quỹ đạo của một electron quay xung quanh hạt nhân nguyên tử? Tại sao lại tồn tại những hệ thống vĩ mô với một thực tại mang tính cục bộ? Tại sao sự nhòe lượng tử lại nhường chỗ cho sự không nhòe hằng ngày? Tại sao thực tại toàn cục của các hạt cơ bản đã biến thành thực tại cục bộ của các vật thể vĩ mô?

Theo các nhà vật lý Mỹ James Hartle và Murray Gell-Mann (người khám phá ra hạt quark), sự biến đổi này chỉ xảy ra bởi vì các điều kiện ban đầu của Vũ trụ (ví dụ như mật độ, nhiệt độ hoặc tốc độ giãn nở lúc đầu) đã được điều chỉnh một cách cực kỳ chính xác, giống như các hằng số vật lý. Những tính toán của hai nhà vật lý trên đã chứng minh rằng trong đại đa số các trường hợp, một thế giới dưới nguyên tử với điều kiện ban đầu bất kỳ sẽ không thể dẫn đến một thế giới vĩ mô chứa những vật thể vật chất được định xứ trong không gian và được ban cho một thời gian xác định. Trong một thế giới như thế, sự phân tách thế giới thành các vật thể riêng rẽ trong thời gian và trong không gian là bất khả thi, và chúng ta sẽ không thể hiểu được một thế giới như thế.

Như vậy, tính tuyến tính và tính cục bộ của một số hệ vật lý trong Vũ trụ, và tính có thể hiểu được của nó phụ thuộc vào những điều kiện ban đầu và những hằng số vật lý của Vũ trụ lượng tử non trẻ. Việc chúng ta có thể dần dần khám phá ra các quy luật của Tự nhiên và từng bước hiểu sâu thêm thế giới, thậm chí sự vận hành được của phương pháp khoa học, đều đã được điều chỉnh một cách siêu chính xác ngay từ đầu. Hiệu quả đến phi lý của tư duy trong việc giải mã thế giới chính là một hệ quả của sự điều chỉnh đến phi lý của Vũ trụ ngay từ buổi đầu khai thiên lập địa đó.

Tinh thần của các quy luật

Các quy luật tự nhiên được đặc trưng bởi một tập hợp các tính chất đã được chấp nhận một cách rộng rãi. Các tính chất này gợi nhớ một cách kỳ lạ đến các tính chất mà người ta đã gán cho Thượng đế.

Các quy luật của Tự nhiên trước hết là có tính phổ quát. Chúng được áp dụng ở mọi lúc mọi nơi. Tính phổ quát này của các định

luật vật lý đã được kiểm chứng nhiều lần bởi các quan sát thiên văn. Bởi vì ánh sáng phải mất một thời gian mới đến được chúng ta, nên nhìn càng xa sẽ nhìn thấy càng sớm (vì cái mà ta nhìn thấy hiện thời là cái đã xảy ra trước đấy một khoảng thời gian đúng bằng thời gian ánh sáng truyền từ đó tới chỗ chúng ta - ND). Ánh sáng tới được chúng ta hiện nay từ một thiên hà cách xa Trái đất 12 tỷ năm ánh sáng sẽ mang đến cho chúng ta những thông tin của thời kỳ mà Vũ trụ còn rất non trẻ, mới được 3 tỷ năm tuổi. Như vậy, chúng ta có thể đi ngược dòng thời gian bằng các kính thiên văn. Trong những cuộc du hành trở lại quá khứ đó, chưa một lần nào chúng ta phát hiện ra các định luật vật lý khác biệt với các định luật vẫn chi phối cái xó xỉnh Trái đất nhỏ bé của chúng ta. Tương tự như vậy, bất cứ nơi nào trong không gian mà chúng ta hướng ống kính thiên văn tới, vẫn những hiện tượng vật lý đó diễn ra trước mắt chúng ta.

Thứ hai, các quy luật tự nhiên mang tính tuyệt đối. Chúng không phụ thuộc vào người tiến hành nghiên cứu, cũng không lệ thuộc vào trạng thái của hệ thống được quan sát. Do vậy một nhà vật lý Việt Nam cũng sẽ rút ra chính những quy luật như một nhà vật lý Pháp vậy.

Mặc dù các quy luật liên hệ các trạng thái khác biệt của cùng một hệ thống với nhau, nhưng bản thân chúng không thay đổi theo thời gian. Đó là tính chất thứ ba của các quy luật: chúng là vĩnh cửu và nằm ngoài thời gian, cũng giống như thế giới các Ý niệm của Platon.

Thứ tư, các quy luật tự nhiên có quyền năng tuyệt đối. Trong Vũ trụ không có bất cứ cái gì, từ những nguyên tử nhỏ nhất cho đến những thiên hà lớn nhất, thoát khỏi sự khống chế của chúng.

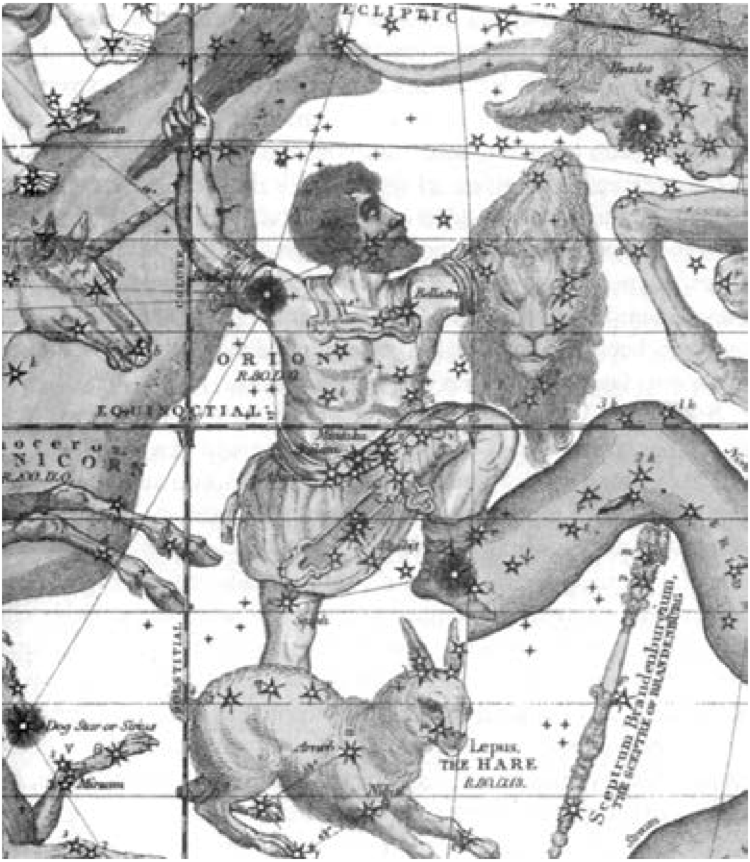
Cuối cùng, các quy luật tự nhiên có sự thông hiểu toàn năng, theo nghĩa là các vật thể vật chất trong Vũ trụ không cần phải thông báo cho chúng về những trạng thái cụ thể của mình để các quy luật ấy tác động đến. Chúng đã "biết" tất cả từ trước.

Các định luật vật lý được khám phá hay được phát minh ra?

Dù có một sự đồng thuận nhất định về những đặc tính của các quy luật tự nhiên, nhưng về địa vị của chúng lại không có sự nhất trí như thế: liệu các định luật có hé mở cho chúng ta thấy những quy luật đích thực trong Tự nhiên, hay chẳng qua chúng chỉ là những sản phẩm thuần túy của trí tưởng tượng của con người? Định luật của Newton về hấp dẫn hay các định luật Maxwell về trường điện từ phải chăng đều thể hiện những mối liên hệ căn bản và khách quan trong Tự nhiên, hay chẳng qua chúng chỉ là những phát minh thiên tài của Newton và Maxwell để miêu tả tính quy luật do hai ông cảm nhận được một cách chủ quan?

Đứng trước các câu hỏi đó, hai phái đối chọi nhau đã hình thành. Một bên là phe "hiện thực" cho rằng các định luật tồn tại độc lập với chúng ta và chúng đợi ta tới khám phá. Là môn đồ của Platon, nhà hiện thực cho rằng các định luật nằm trong thế giới của các Ý niệm, thế giới đó có một thực tại khác với thực tại cảm tính. Trong khi đó, bên kia là phe của những người theo thuyết "kiến thiết". Theo phe này các định luật tự nhiên chỉ có trong trí tưởng tượng phong phú của các nhà vật lý, và chỉ tồn tại thật sự bên trong các nơron và các khớp thần kinh của con người.

Giữa hai quan điểm đối lập nhau hoàn toàn như vậy, tôi dứt khoát đứng về phía những người thuộc trường phái hiện thực. Tôi tin chắc rằng những quy luật mà tôi nhận biết được về Tự nhiên



Hình 59. *Con người và bầu trời.* Những chòm sao trên bầu trời thay đổi trong suốt hành trình quay hằng năm của Trái đất xung quanh Mặt trời. Ở đây chúng ta thấy chòm sao Orion trên tấm bản đồ thiên văn năm 1835. Chòm sao này được nhìn thấy vào mùa đông ở Bán cầu Bắc. Trải qua nhiều thời đại và nhiều nền văn hóa, con người thường phóng chiếu lên bầu trời những khát vọng và mơ ước của mình. Nhiều chòm sao được mang tên những nhân vật thần thoại thời Cổ đại. Trong thần thoại Hy Lạp, Orion là thợ săn khổng lồ bị nữ thần săn bắn Artemis giết chết do bị xúc phạm. Như một hình phạt, chàng bị biến thành một chòm sao. Dù các hình hài mà con người nghĩ rằng mình đã thấy trong các chòm sao chỉ tồn tại trong trí óc họ, nhưng các ngôi sao trên vòm trời thực sự tồn tại và thực tại của chúng là độc lập với ý nghĩ con người.

thông qua kính thiên văn hoàn toàn không phải là sự sáng tạo bởi trí tuệ của tôi. Các ngôi sao non trẻ xuất hiện từ "nhà trẻ" của các vì sao, những cánh tay tinh tế trang trí cho các thiên hà xoắn đều là thực tế như nó vốn thế. Những người theo phái "kiến thiết" đáp lại rằng lý trí con người thường có xu hướng nhìn thấy những quy luật và các môtíp ở những nơi mà chúng không có. Để làm ví dụ, họ đã kể ra những hình ảnh mà những người cổ đại tưởng rằng mình đã nhìn thấy trong các chòm sao trên trời, nhưng những hình ảnh ấy chỉ tồn tại trong trí óc con người, bởi vì những hình ảnh mà họ gán cho các chòm sao này (ví dụ như con gấu, con thiên nga hoặc chiếc đàn lyra) là khác nhau tùy theo các nền văn hóa và các thời đại (H. 59). Mặc dù trí óc con người có xu hướng tưởng tượng ra các quy luật, nhưng tôi nghĩ rằng những người theo phái "kiến thiết" đã phạm sai lầm khi đây là vấn đề của những quy luật ở mức độ sâu hơn mà ta gọi là những "định luật của Tự nhiên". Các định luật này phản ánh những quy luật có thật, không phải là sản phẩm của trí tưởng tượng của chúng ta, chúng tồn tại độc lập với sự tồn tại của chúng ta.

Có rất nhiều lý do khiến tôi chấp nhận lập trường này. Trước hết, hoạt động khoa học sẽ không còn ý nghĩa nữa nếu mọi quy luật là những cái do con người tưởng tượng ra. Sau nữa, các định luật được rút ra và thừa nhận đó đem lại những điều mới mẻ, hé lộ những môtíp chưa từng biết đến và bất ngờ trong Tự nhiên. Thực tế, những lý thuyết vật lý lớn không tự giới hạn ở chỗ đem lại sự mô tả đơn giản các quy luật đã được lý trí nắm bắt. Chúng dẫn dắt chúng ta đi theo những con đường chưa từng biết đến, trong những xứ sở chưa từng được khai phá, để đi tới những sự hài hòa khác không ngờ tới. Newton đã dựng lên lý thuyết vĩ đại về lực hấp dẫn để giải thích sự chuyển động của các hành tinh; nhưng lý

thuyết này cũng cho phép ông hiểu được chuyển động lên xuống của thủy triều ở các đại dương. Nhà thiên văn Anh Edmund Halley (1656-1742) đã sử dụng lý thuyết đó để tiên đoán sao chổi nổi tiếng (ngày nay mang tên ông: sao chổi Halley) cứ 76 năm lại đến thăm Trái đất một lần. Khi phát biểu về các định luật điện từ, Maxwell không thể ngờ các phương trình của ông sẽ phát hiện ra rằng các sóng điện từ chính là ánh sáng, chứ không phải là cái gì khác. Khi xây dựng thuyết tương đối hẹp, Einstein không hề có ý nghĩ rằng lý thuyết này sẽ nói với ông: vật chất có thể chuyển hóa thành năng lượng và rằng sự tương đương vật chất - năng lượng đã làm cho Mặt trời chiếu sáng; và nó cũng chịu trách nhiệm về sự tàn phá ở hai thành phố Hiroshima và Nagasaki. Einstein cũng không hề ngờ rằng thuyết tương đối rộng sẽ dẫn đến sự phát hiện các thiên thể quái dị, ngoại lai như là sao nơtron và lỗ đen. Bởi vì các định luật đó phát hiện ra những mối liên hệ không thể ngờ tới, những quy luật chưa từng chạm qua lý trí con người, nên chúng không thể là sản phẩm thuần túy từ trí tưởng tượng của chúng ta được. Nói theo hình ảnh của máy tính thì các định luật là phần mềm của Tự nhiên, trong khi các trạng thái vật lý là phần cứng. Mà phần mềm thì tồn tại độc lập với các mạch điện tử của máy tính.

Còn một lý do thứ ba khiến tôi nghĩ rằng các định luật của Tự nhiên không phải là sản phẩm thuần túy của lý trí. Tất cả những định luật đều được diễn đạt bằng một ngôn ngữ chung, đó là ngôn ngữ toán học. Mà ta có nhiều lý do tuyệt hảo để cho rằng toán học không phải là do con người sáng chế ra, mà nó nằm trong thế giới các Ý niệm của Platon, một thế giới hoàn toàn độc lập với thế giới cảm tính.

Quang cảnh toán học

Các ý kiến về bản chất của toán học cũng rất khác nhau. Giống như đối với các định luật tự nhiên, những người theo phái kiến thiết nghĩ rằng các thực thể toán học không thực sự tồn tại, mà chỉ nằm trong ý nghĩ của các nhà toán học mà thôi. Cũng như triết gia kinh nghiệm chủ nghĩa người Scotlen David Hume (1711-1776), họ có ý kiến rằng "tất cả mọi ý tưởng chẳng qua chỉ là những bản sao của ấn tượng của chúng ta mà thôi", và chỉ có kinh nghiệm dựa trên thực tại mới có ý nghĩa và tính hiện thực. Ví dụ các hình hình học chỉ trở nên thực tế trong các hình hài của Tự nhiên.

Đối với những người thuộc phái hiện thực, trong số đó có tôi, các thực thể toán học là cả một quang cảnh rộng lớn mà chúng ta có thể khám phá và phát hiện bằng lý trí của mình, tựa như chúng ta khám phá các khu rừng ở Amazon hoặc sa mạc Sahara vậy. Các số nguyên không nảy sinh từ đầu óc chúng ta. Chúng đơn giản chỉ tồn tại, bất kể con người có ý thức được chúng hay không. Thực tại của chúng khác với thực tại cảm tính. René Descartes, nhà hiện thực chủ nghĩa, đã viết về các hình hình học trong cuốn *Những suy ngẫm siêu hình học* như sau:

"Khi tôi tưởng tượng một hình tam giác, thì có thể là không một nơi nào trên thế giới, ngoài ý nghĩ của tôi, có một hình như thế, và cũng có thể là chưa bao giờ có. Tuy nhiên, nó vẫn có một bản chất hoặc hình dạng, hoặc một bản thể xác định, bất di bất dịch và vĩnh cửu, không phải do tôi phát minh ra và nó cũng không phụ thuộc vào đầu óc tôi bằng bất cứ cách nào".

Gần chúng ta hơn, nhà toán học Anh Roger Penrose [1] (1931-) cũng nói:

1. Roger Penrose, *L'Esprit, l'ordinateur et les lois de la physique*, InterEditions, Paris, 1992

"Chân lý toán học vượt ra ngoài chủ nghĩa hình thức thuần túy. Các khái niệm toán học dường như có một thực tại sâu sắc vượt ra ngoài những cuộc tranh luận của nhà toán học này hay nhà toán học kia. Hệt như thể tư duy con người được dẫn dắt tới một chân lý bên ngoài, một chân lý có thực tại riêng của nó, và nó chỉ hé lộ một phần cho mỗi chúng ta mà thôi".

Một nhà bác học khám phá quang cảnh toán học trong không gian tinh thần cũng chẳng khác gì một người thám hiểm xứ sở chưa biết, như nhà du hành Vũ trụ Mỹ Neil Amstrong (1930-) nhún nhảy trên bề mặt khô cằn của Mặt trăng, hoặc như nhà nghiên cứu đại dương Pháp Jacques Yves Cousteau (1910-1997) khám phá ra những điều kì diệu của thế giới dưới đáy biển. Cũng giống như mọi cuộc thám hiểm, cái mới luôn xuất hiện. Những thông tin có được từ việc nghiên cứu một số thực thể toán học phong phú hơn rất nhiều so với những thông tin mà nhà toán học có ban đầu, để xây dựng nên các thực thể này. Nhà vật lý Đức Heinrich Hertz (1857-1894) mô tả cái mới này như sau:

"Chúng ta không thể không nghĩ rằng các công thức toán học đều có cuộc sống riêng, chúng biết rõ điều đó hơn là người khám phá ra chúng, và chúng cho chúng ta nhiều hơn là chúng ta cho chúng".

Trực giác toán học

Cách các nhà toán học làm việc là dựa chắc vào ý tưởng của Platon về một thế giới các hình dạng toán học. Hãy nghe Roger Penrose[1] một lần nữa:

1. Sách đã dẫn

“Tôi tưởng tượng rằng khi trí óc thu nhận một ý tưởng toán học, nó bắt đầu tiếp xúc với thế giới Platon của các khái niệm toán học. Sự liên lạc giữa các nhà toán học với nhau sở dĩ có thể xảy ra là bởi vì mỗi người trong số họ đều trực tiếp tiếp cận với chân lý, và đều cùng tiếp xúc với chính thế giới của các Ý niệm vĩnh cửu... Những chân lý vĩnh cửu này dường như đã tồn tại từ trước trong một thế giới thuần khiết, thanh cao”.

Sự tiếp xúc thần diệu với thế giới các Ý niệm được thể hiện một cách đột ngột và bất ngờ dưới dạng trực giác toán học. Có rất nhiều ví dụ như vậy. Sau đây là câu chuyện của nhà toán học Đức Carl Gauss kể về cảm hứng đột ngột của ông sau nhiều năm tìm kiếm một cách vô vọng một định lý số học:

“Cuối cùng, cách đây hai ngày tôi đã thành công, không phải do những nỗ lực gian khổ của tôi mà là nhờ ân huệ của Chúa. Giống như một tia chớp đột ngột, câu đố bí hiểm đã được giải quyết. Chính tôi cũng không hiểu nổi bản chất của sợi dây dẫn dắt kết nối những điều mà tôi đã biết với những cái đã đưa tôi đến thành công”.

Lại nữa, chúng ta hãy nghe người tiên phong của lý thuyết hỗn độn, nhà toán học Pháp Henri Poincaré, kể về lời giải cho một bài toán khó mà ông đã bỏ ra nhiều tuần để tìm kiếm mà không ra, nay bỗng nhiên hiện ra rõ như ban ngày, một cách hoàn toàn bất ngờ, không có sự chuẩn bị gì, giữa lúc ông đang tiến hành một cuộc khảo sát địa chất[1]:

“Vào thời điểm đó tôi rời Caen, nơi tôi trú ngụ hồi đó, để tham gia một cuộc khảo sát địa chất do trường Mỏ tổ chức. Những biến

1. Trích trong cuốn *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathematique*, của Jacques Hadamard, Gauthier-Villars, Paris, 1975

cố của chuyến đi làm tôi quên khuấy những công việc toán học của mình. Đến Countances, chúng tôi leo lên một xe chở khách mà tôi không biết là mình sẽ đi đâu; ngay lúc vừa đặt chân lên bậc cửa xe, thì một ý tưởng chợt nảy ra trong đầu tôi, đúng lúc mà những suy nghĩ của tôi không hề có sự chuẩn trước gì cho điều đó cả... Tôi không kịp kiểm tra lại ý tưởng đó, vì không có thì giờ và cũng bởi vì chưa kịp ngồi xuống ghế, tôi đã phải tiếp tục câu chuyện còn bỏ dở với một bạn đồng hành. Nhưng ngay lập tức tôi đã hoàn toàn tin chắc. Trở về Caen, tôi thư thả kiểm tra lại các kết quả đã nhận được trong ý thức của tôi".

Sự bất ngờ (lời giải có thể nảy ra ở những nơi bất ngờ nhất: Poincaré thì ở bậc cửa xe khách, còn Archimede (khoảng 287 - 212 trước CN) thì trong phòng tắm, khi ông bỗng hét lên Ơrêca!), tính đột ngột, sự chớp nhoáng và tin chắc ngay tức khắc, đó là những đặc trưng của sự lóe sáng toán học. Sự tiếp xúc ngắn ngủi này với thế giới các Ý niệm được thực hiện sau những tháng ngày dài thai nghén lao tâm khổ tứ của các quá trình vô thức. Poincaré đã diễn tả điều này như sau:

"Các hiện tượng đặc ân có khả năng trở thành có ý thức, chính những hiện tượng ấy, trực tiếp hoặc gián tiếp, có tác động sâu sắc nhất đến độ nhạy cảm của chúng ta. Người ta có thể ngạc nhiên khi thấy rằng các chứng minh toán học, vốn dường như chỉ có quan hệ với trí tuệ, lại phải viện đến cả sự nhạy cảm nữa. Đó là quên đi ý nghĩa của vẻ đẹp toán học, của sự hài hòa của những con số và các hình khối, của sự hùng biện của hình học. Đó là một cảm giác thẩm mỹ đích thực mà tất cả các nhà toán học chân chính đều biết. Và đó hoàn toàn là do sự nhạy cảm".

Chúng ta lại tìm thấy ở đây đề tài về vẻ đẹp và sự hài hòa là những cái dẫn dắt trực giác đúng đắn.

Tính phổ quát của toán học

Hứng thú thẩm mỹ mà một nhà toán học cảm nhận được trong khi làm toán giống một cách kỳ lạ với hứng thú mà một nghệ sĩ cảm nhận được trong khi sáng tạo một tác phẩm nghệ thuật. Nó phản ánh cùng một tình cảm hưng phấn do đã đến gần được cái thiêng liêng trong một khoảnh khắc ngắn ngủi và đã vén lên được một mảnh khiêm tốn của Chân lý vĩnh hằng. Song cũng có một khác biệt về tầm vóc giữa sự sáng tạo nghệ thuật với một công trình toán học. Giống như các quy luật tự nhiên, toán học cũng có tính phổ quát. Chúng không hề mang dấu ấn của tác giả làm ra chúng, trong khi một tác phẩm nghệ thuật mang đậm dấu ấn phong cách và cá tính của người nghệ sĩ. Do vậy, những nhà toán học thuộc những nền văn hóa và truyền thống khác nhau, làm việc trong những xã hội khác nhau, sử dụng những phương pháp chứng minh không phải bao giờ cũng giống nhau, nhưng đều cùng đi đến một kết quả, và dẫn đến cùng một định lý. Trong khi đó, *Bản giao hưởng thứ chín* nhất thiết phải gắn với tên tuổi của Ludwig Van Beethoven (1770-1827) và tác phẩm *Bà Bovary* chỉ có thể được viết ra dưới ngòi bút của Gustave Flaubert (1821-1880).

Và đây còn là một lý do nữa để nghĩ rằng toán học tồn tại độc lập với lý trí của chúng ta: chúng có tính khách quan, tách biệt với con người đã phát minh ra chúng, trong khi các tác phẩm nghệ thuật và văn học mang đậm tính chủ quan, phản ánh cá tính của các tác giả làm ra chúng. Tính khách quan của toán học khiến cho nó có thể được nghiên cứu với sự tình nguyện hợp tác của nhiều nhà toán học, trong khi đó, nói chung, rất khó có trường hợp hai hay nhiều người cùng vẽ một bức tranh hay cùng viết một cuốn tiểu thuyết.

Ramanujan, nhà toán học có trực giác tuyệt vời

Cảm giác cho rằng toán học tồn tại bên ngoài bộ não của chúng ta, trong thế giới các Ý niệm của Platon, còn được tăng cường và củng cố hơn nữa khi chúng ta xem xét trường hợp các nhà toán học vô song. Thiên tài của họ được thể hiện không chỉ ở chỗ đưa ra được những phát minh toán học một cách tài tình, mà nhất là khả năng tuyệt vời nêu ra những kết quả mới và bất ngờ hoàn toàn dựa vào trực giác chứ không có một chứng minh duy lý nào. Thường thường phải mất nhiều năm tháng dài làm việc mới có thể chứng minh được những kết quả trực giác đó trên một cơ sở lôgic vững chắc. Dường như các nhà toán học thiên tài ấy có khả năng tiếp cận một cách trực tiếp thế giới những Ý niệm của Platon, điều đó cho phép họ không phải đi qua con đường lao động khổ ải của tư duy duy lý.

Có rất nhiều ví dụ.

Trong chúc thư viết trước khi bỏ mạng trong một cuộc đấu súng, nhà toán học Pháp Evariste Galois (1811-1832) có nói đến một định lý về các tích phân, mà mãi 21 năm sau cái chết của ông, người ta mới chứng minh được.

Một nhà toán học Pháp khác, Pierre Fermat (1601-1665) đã ghi ở lề một trang sách một định lý viết vội bằng nét chữ nguệch ngoạc. Cho mãi đến năm 1994, định lý đó mới được chứng minh đầy đủ trên hàng trăm trang giấy tính toán[1].

Song có lẽ nhà toán học Ấn Độ Srinivasa Ramanujan (1887-

1. Định lý này được gọi là Định lý cuối cùng của Fermat. Định lý này khẳng định rằng không tồn tại một số nguyên n > 2, để cho phương trình $x^n + y^n = z^n$ có nghiệm là các số nguyên. Trường hợp n = 2, một trong số các nghiệm là x = 3, y = 4, z =5, vì $3^2 + 4^2 = 5^2$.

1920) mới là một minh chứng nổi tiếng nhất và gây ấn tượng mạnh nhất về trực giác toán học. Sinh ra từ một gia đình nghèo ở miền Nam Ấn Độ, Ramanujan chỉ được học hành rất ít. Là người chủ yếu tự học, ông đã khám phá lại, theo cách của riêng mình và trong sự đơn độc hoàn toàn về trí tuệ, nhiều kết quả nổi tiếng và tự ông đã vạch ra con đường đi riêng của mình. Tiếp cận với toán học một cách không bình thường, ông đã khám phá ra, bằng trực giác và không có chứng minh chặt chẽ, một số lớn các định lý mới. Khi biết đến các kết quả của Ramanujan, nhà toán học Anh Godfrey Hardy (1877-1947) đã rất kinh ngạc:

"Tôi chưa từng thấy một chuyện như thế bao giờ. Các định lý này chỉ có thể được đưa ra từ bộ óc của một nhà toán học siêu hạng". Hardy đã phải huy động toàn bộ tài năng của mình vào việc chứng minh các định lý đó song cũng chỉ được một phần. Đối với các định lý còn lại, ông đành chịu thua, nhưng tuyên bố rằng: "Những định lý đó chắc chắn là đúng, vì không ai có thể có đủ trí tưởng tượng để phát minh ra chúng". Ông còn nói thêm: "Trong cuộc chơi mà Ramanujan hiểu rất rõ luật chơi, anh ta sẽ đánh bại bất cứ một nhà toán học nào".

Năm 1914 Hardy mời nhà toán học trẻ Ấn Độ đến làm việc tại trường Đại học Cambridge nước Anh. Nhưng cú sốc do nền văn hóa mới, sự khó khăn lớn trong việc thích nghi với môi trường xã hội khác lạ, nhưng chủ yếu là bệnh tật, đã ngăn cản đà tiến của nhà toán học Ấn Độ này. Mặc dù vậy, ông vẫn tiếp tục làm cho các nhà toán học Anh bị choáng ngợp bởi những kỳ tích toán học của mình. Giai thoại sau đây chứng minh điều đó.

Một hôm Hardy đến thăm Ramanujan, lúc đó đang lâm bệnh. Hardy nói rằng ông đã đến bằng xe taxi mang biển số 1729, rồi nói thêm, "đó một con số rất nhạt nhẽo". Chủ nhà đáp: "Con số đó

chẳng nhạt nhẽo chút nào đâu. Trái lại, đó là một con số cực thú vị, nó là số nguyên nhỏ nhất có thể phân tích thành tổng của hai lập phương bằng hai cách: $1729=12^3+1^3=10^3+9^3$".

Bệnh lao đã cướp đi sinh mạng của Ramanujan khi ông mới 33 tuổi. Ông đã để lại một kho báu to lớn những phỏng đoán toán học. Cho đến nay, người ta vẫn không hiểu bằng cách nào ông lại có được những phỏng đoán đó. Hardy đã mô tả phương pháp làm việc của ông như sau: "Những ý niệm của ông về những điều tạo nên một chứng minh toán học đều rất mơ hồ. Tất cả các kết quả của ông, dù mới hay không mới, đúng hay sai, đều dựa trên một sự pha trộn giữa luận chứng, trực giác và quy nạp".

Có một sự trùng hợp đáng kinh ngạc: những vấn đề mà Ramanujan tiếp cận một cách độc đáo và bằng trực giác, thường cũng là những vấn đề mà các nhà toán học truyền thống cùng thời với ông quan tâm. Sự trùng hợp này là thêm một bằng chứng nữa cho thấy sự tồn tại khách quan của toán học. Đây là một con người xuất thân từ một môi trường văn hóa và xã hội hoàn toàn khác, con người ấy đã không được đào tạo theo khuôn mẫu hàn lâm truyền thống, nhưng vẫn có cùng những ý tưởng toán học giống như những đồng nghiệp xa lạ của mình. Rõ ràng, Ramanujan đã tìm nguồn cảm hứng trong cùng một thế giới các Ý niệm toán học của Platon như các đồng nghiệp. Chúng ta không thể không nhắc tới sự tiếp cận với thế giới các ý niệm khi nói đến các nhân vật có khả năng tính nhẩm kỳ lạ, có thể nhân nhẩm không hề mắc sai sót những con số gồm hàng trăm chữ số mà không có một ý niệm gì về quá trình tính nhẩm dẫn đến kết quả; hoặc khi nói đến các "nhà bác học tự kỷ", những người tật nguyền về tâm lý, có khả năng giải quyết các vấn đề toán học mà nhiều người trong chúng ta đã phải thú nhận chịu thua.

Tự nhiên tinh tế nhưng không tinh quái

Những thành công đáng kinh ngạc của khoa học mà hầu như ngày nào cũng được đưa tin trên trang nhất của các tờ nhật báo cũng như trong các chương trình thời sự của TV làm cho chúng ta quên rằng khoa học vận hành được đã là một điều gần như thần kỳ. Như chúng ta đã thấy, sở dĩ như vậy là bởi vì Tự nhiên bộc lộ những quy luật của nó mà chúng ta quen gọi là các "định luật". Nhưng một tác nhân thứ hai, cũng quan trọng không kém, nằm trong một thực tế là bộ não của chúng ta có khả năng nhận biết những quy luật đó. Thực vậy, Tạo hóa gửi cho chúng ta những nốt nhạc nhưng không cung cấp cho ta giai điệu. Chính chúng ta là người phải tìm ra cái giai điệu ấy. Dù chúng ta quan sát được những quy luật thì ý nghĩa của chúng không phải bao giờ cũng ngay lập tức trở thành hiển nhiên. Cảnh bình minh và hoàng hôn rất đẹp bởi màu đỏ và màu da cam rực rỡ của nó. Nhưng cũng phải đợi cho đến khi nhà vật lý Pháp Léon Foucault (1819-1868) treo con lắc của ông lên trần điện Panthéon tại Paris và quan sát thấy mặt phẳng dao động của con lắc thay đổi so với mặt đất trong nhiều giờ, chúng ta mới hiểu được rằng Mặt trời mọc và lặn là bởi vì Trái đất xoay quanh mình nó 24 giờ một vòng. Cần phải có toàn bộ thiên tài của Johannes Kepler và Isaac Newton để chọc thủng bức màn chuyển động bí mật của các hành tinh và để hiểu được rằng chúng chuyển động trên những quỹ đạo hình elip với Mặt trời nằm ở một trong hai tiêu điểm của nó.

Thông điệp của Tự nhiên đến với chúng ta đã được mã hóa và chúng ta có nhiệm vụ phải giải mã nó. Điều đáng ngạc nhiên là bộ não của chúng ta có khả năng giải được mã Vũ trụ đó, ít ra cũng một phần, và chúng ta có thể tiến dần đến sự hiểu biết ngày càng đầy đủ hơn về thế giới. Thực ra, chúng ta đều có thể sống rất đàng

hoàng trong một vũ trụ mà ở đó các quy luật đều bị che khuất, các môtip bị giấu kín, giai điệu thì bí ẩn tới mức việc giải mã Vũ trụ đòi hỏi phải có những khả năng trí tuệ mà bộ não con người không thể có được. Chúng ta cũng có thể sống trong một Vũ trụ mà ở đó những quy luật là đương nhiên và rõ ràng đến nỗi chúng đập thẳng vào mắt chúng ta, và không cần phải có một nỗ lực trí tuệ nào cũng hiểu được ý nghĩa của chúng.

Nhưng chúng ta không sống trong hai trường hợp cực đoan đó, mà sống trong một Vũ trụ trung gian, ở đó mức độ khó của mã Vũ trụ dường như ăn khớp một cách bí ẩn với khả năng hiểu được mã đó của bộ não con người. Nhiệm vụ này không dễ dàng nhưng cũng không phải là không thể vượt qua. Nó cũng đủ khó để đặt ra cho chúng ta một thách thức nghiêm chỉnh, nhưng lại không quá phức tạp để làm nản lòng chúng ta, buộc chúng ta phải bó tay. "Thượng đế rất tinh tế, nhưng Người không tinh quái", Einstein đã từng nói như vậy. Tinh tế là bởi vì bí mật của giai điệu không phải được đặt sẵn trên mâm để mời chúng ta. Còn không tinh quái là bởi vì nếu chúng ta góp phần mình vào thì có thể giải mã được. Chúng ta không bị quy về trình trạng của con ấu trùng chỉ biết chịu tác động của các quy luật tự nhiên mà không bao giờ hiểu được chúng. Đó là sự trùng hợp thứ nhất.

Sự trùng hợp thứ hai cũng rất đáng ngạc nhiên: bộ não có khả năng tiếp thu các sự kiện cụ thể cũng như những khái niệm trừu tượng, có khả năng học được vật lý, hóa học, sinh học, toán học, tin học... để thực hành khoa học. Sau khi có trình độ tú tài, nói chung cần sáu năm tập sự và đào tạo để một sinh viên nắm vững các môn học đó và đạt tới một độ chín khoa học cần thiết để có thể đóng góp vào công việc nghiên cứu. Thông thường thì độ chín này ở vào khoảng 25, 26 tuổi hoặc vào đầu tuổi 30. Mặt khác, người

ta cũng nhận thấy rằng trong khoa học vật lý và toán học, thời kỳ có nhiều sáng tạo nhất của một nhà nghiên cứu thường ở vào độ tuổi từ 25 đến 35. Những phát minh và sáng chế quan trọng nhất đều được thực hiện chính trong khoảng thời gian đó. Newton đã phát minh ra định luật vạn vật hấp dẫn năm ông 24 tuổi. Ở độ tuổi 26, Einstein đã công bố đồng thời các công trình có tính cách mạng của ông về thuyết tương đối hẹp, về cơ học thống kê và về bản chất hạt của ánh sáng. Ở tuổi 36, ông đã công bố thuyết tương đối rộng. Thời gian cần thiết để tự đào tạo về mặt khoa học và thời kỳ bộ não con người hoạt động sáng tạo tốt nhất trùng hợp với nhau một cách kỳ lạ, để cho con người có khả năng làm khoa học trong những điều kiện tối ưu. Song sự trùng hợp này, về mặt tiên nghiệm mà nói, không phải là tất yếu. Chúng ta thậm chí có thể hình dung ra một vũ trụ phức tạp tới mức phải mất cả đời mới học được những sự kiện và các khái niệm cần thiết trước khi chúng ta có thể làm khoa học. Nhưng bộ óc chúng ta khi đó có nhiều nguy cơ đã bị thoái hóa hoặc chúng ta chẳng còn sống để mà làm khoa học nữa.

Sự hiểu biết không cần thiết cho sự sinh tồn

Vậy phải có thái độ như thế nào khi đối mặt với những sự trùng hợp kỳ lạ giữa các thuộc tính của bộ não và các đặc tính của Tự nhiên, những sự trùng hợp cho phép chúng ta giải mã được bí mật của giai điệu? Đối với những môn đồ của thuyết Darwin thì sự trùng hợp này chẳng có gì là bí hiểm. Chúng chẳng qua chỉ là kết quả của sự chọn lọc tự nhiên. Chính sự chọn lọc tự nhiên đã tạo ra và đúc nên bộ não của con người sao cho nó có đủ khả năng hiểu được Tự nhiên và thích nghi tốt nhất để sinh tồn.

Tôi không nghĩ rằng đây là một lập luận có sức thuyết phục. Sự tiến hóa theo thuyết Darwin chắc chắn đã góp phần vào sự phát triển các khả năng trí tuệ của chúng ta để đối mặt với những biến đổi của môi trường. Nhưng những khả năng đó thuộc loại cụ thể và thực tiễn. Chẳng hạn con người đã từng học cách lẩn tránh các thú dữ săn mồi, học cách tự bảo vệ khi trái gió trở trời và học cách chống nóng hoặc chống lạnh. Con người cũng học cách tìm kiếm nguồn thức ăn hoặc tránh các vật từ trên cao rơi xuống. Nhưng khó có thể tin rằng cuộc đấu tranh để sinh tồn còn đòi hỏi phải hiểu biết định luật vạn vật hấp dẫn hoặc những định luật về sự truyền ánh sáng hay về sự hình thành các thiên hà, các lỗ đen, hoặc sự hiểu biết hơn nữa về cấu tạo của các nguyên tử. Sự hiểu biết thuần túy thuộc về trí óc này không đem lại một ưu thế nào về mặt sinh học cả. Người ta không thể nhận thấy toán học có thể làm gì để tăng thêm cơ may cho sự sinh tồn của chúng ta. Việc biết Vũ trụ được tạo nên bởi những cái gì và như thế nào chẳng có ích lợi gì trong cuộc chạy đua nhằm chiếm đoạt những nguồn tài nguyên tự nhiên hạn chế của hành tinh chúng ta.

Người theo thuyết Darwin hẳn sẽ phản bác lại rằng: sự hiểu biết về các bí mật của nguyên tử đã cho phép xây dựng nên một kho vũ khí hạt nhân có thể dùng vào việc chiếm hữu các nguồn tài nguyên hạn chế này đấy thôi. Nhưng nhìn chung khoa học không theo đuổi các mục đích vụ lợi và thực dụng. Khi Einstein, nhờ có thuyết tương đối hẹp, khám phá ra rằng vật chất là một dạng năng lượng, ông không hề nghĩ đến việc chế tạo bom nguyên tử. Ông cũng không hề bị câu thúc bởi các vấn đề sinh tồn và chạy đua vũ trang. Điều thu hút hết tâm trí của ông chính là tính tương đối của thời gian và không gian. Cũng hoàn toàn chính xác khi nói rằng một sự hiểu biết sâu sắc hơn về Tự nhiên, mặc dù lúc đầu

chỉ là sự quan tâm thuần túy về mặt thẩm mỹ và trí tuệ, rốt cuộc cũng sẽ được thể hiện bằng những ứng dụng công nghệ, mà phần lớn đều hướng vào việc làm tăng phúc lợi cho xã hội. Lịch sử đã chứng minh rõ ràng rằng: sự hiểu biết định luật vạn vật hấp dẫn của Newton đã cho phép các máy bay đưa chúng ta từ đầu này đến đầu kia của Trái đất trong vòng không đầy một ngày, thậm chí đưa được con người lên cả Mặt trăng. Các định luật điện từ của Maxwell cho phép các hình ảnh từ khắp hành tinh hiển thị hầu như tức khắc trên màn hình nhỏ trong phòng khách nhà chúng ta và còn cho phép chúng ta nói chuyện thoải mái với bất cứ ai, gần như ở bất kỳ đâu trên hành tinh. Cũng giống như Einstein, các nhà vật lý Newton và Maxwell đều bị thúc đẩy bởi sự ham muốn hiểu biết, chứ không phải bởi nhu cầu được sinh tồn.

Ý thức của Vũ trụ

Chúng ta thu được những hiểu biết về thế giới bằng hai cách khác nhau: một mặt là sự hiểu biết bằng cảm tính, trực tiếp và theo bản năng; mặt khác là sự hiểu biết bằng lý trí, ít trực tiếp hơn và nhiều suy ngẫm hơn. Nếu nhìn quả táo rụng trong vườn, chúng ta có thể bằng lòng với sự hiểu biết chỉ cần đến các giác quan của mình. Chúng ta có thể ngắm nhìn màu đỏ sẫm rất đẹp của vỏ táo, theo dõi quả táo từ lúc nó rời khỏi cành cây cho đến khi tiếp đất, lắng nghe tiếng động khô khốc khi quả táo rơi xuống cỏ và nằm lại đó. Nhưng chúng ta cũng có thể xem xét sự rơi của quả táo ở trình độ trừu tượng và sâu xa hơn nhiều. Nhờ có sự hiểu biết định luật Newton và kiến thức toán học, chúng ta có thể tính được một cách chính xác đoạn đường rơi của quả táo, thời gian rơi, tốc độ rơi và kiểm định chúng bằng những phép đo chính xác. Về mặt

tiên nghiệm thì không có một mối liên hệ đương nhiên nào giữa hai cách hiểu biết nói trên. Chúng tách rời nhau và sự hiểu biết nhờ lý trí không chỉ là sự kéo dài, hoàn thiện hơn của sự hiểu biết nhờ cảm tính.

Sự hiểu biết cảm tính đáp ứng được nhu cầu sinh học. Việc chúng ta ý thức được sự rơi của quả táo cho phép chúng ta tránh không để nó rơi trúng đầu và làm chúng ta bị tổn thương. Trái lại, sự hiểu biết lý tính không liên quan gì đến sự sống còn của chúng ta. Thực tế, những khái niệm nảy sinh trong một số lĩnh vực khoa học, như trong vật lý hoặc thiên văn học, đôi khi rất kỳ lạ, kỳ lạ đến mức nó trái ngược hẳn với lương tri và chẳng giúp được gì cho chúng ta trong cuộc sống hằng ngày. Ví dụ, ý tưởng cho rằng electron khoác bộ áo sóng khi người ta không nhìn vào nó, và khi người ta quan sát nó thì nó sẽ biến hình thành hạt. Ý tưởng đó chắc chắn không tham gia gì vào việc giúp chúng ta tồn tại. Biết rằng không gian bị uốn cong và thời gian dừng lại ở mép của một lỗ đen, sự hiểu biết đó cũng không đem lại điều gì ích lợi trong quá trình chọn lọc tự nhiên. Sự sinh tồn trong "cánh rừng rậm của cuộc đời" không đòi hỏi một sự hiểu biết trí tuệ nào về Tự nhiên, mà chỉ cần có những hiểu biết về những biểu hiện của Tự nhiên tác động trực tiếp đến giác quan của chúng ta. Sự sống còn của một loài phụ thuộc không phải vào sự tìm kiếm một trật tự còn bị giấu kín hay một mã bị khuất lấp, mà vào một sự đánh giá trực tiếp thế giới. Khi chúng ta chạy để tránh một vật phóng ra rơi không trúng người, hoặc khi ta nhảy qua một vũng nước để không bị ướt, chúng ta không hề phân tích tình thế theo các định luật cơ học và hấp dẫn. Khi một chiếc xe lao hết tốc lực về phía ta, ta không hề nghĩ (cũng không có thì giờ để nghĩ) mà chỉ hành động theo bản năng để tránh chiếc xe đó. Hành động theo phản

xạ này cũng giống như hành động của các con vật. Khi một con chó lao đi để bắt lấy khúc xương người ta ném cho nó, chắc rằng nó không cần viện đến các định luật của Newton! Một con chim đập cánh bay theo bản năng, nó không cần biết đến một định luật vật lý nào. Sự hiểu biết bản năng này đã được ghi sẵn trong gen của con chó và con chim, giống như bản năng của chúng ta. Bản năng đã được hun đúc bởi những kinh nghiệm đã qua của các tiền bối cũng như của chính chúng ta và được ghi trong các gen.

Nếu chỉ có sự hiểu biết cảm tính về thế giới là cần thiết cho sự sống còn của chúng ta, nếu chỉ có sự hiểu biết ấy mới thuộc về nhu cầu sinh học, vậy thì tại sao chúng ta lại có được một hiểu biết lý tính về môi trường xung quanh? Tôi nghĩ rằng khả năng hiểu biết Vũ trụ của chúng ta không phải là kết quả của một sự ngẫu nhiên may mắn. Nó đã được "lập trình" từ trước, giống như Vũ trụ đã được điều chỉnh một cách cực kỳ chính xác, ngay khi mới ra đời để cho sự sống xuất hiện. Chúng ta hiện còn chưa biết con người tư duy và sáng tạo như thế nào, nhưng vào cái ngày chúng ta hiểu được những cơ chế của tư duy, nếu người ta có phát hiện ra rằng bộ não của con người đã được sắp đặt với một độ chính xác cực kỳ tỉ mỉ để cho tư duy xuất hiện, thì tôi cũng chẳng lấy gì làm ngạc nhiên. Sự tồn tại của Vũ trụ chỉ có ý nghĩa nếu nó chứa một ý thức có khả năng đánh giá được sự tổ chức, vẻ đẹp và sự hài hòa của nó. Điều không thể tránh khỏi là ý thức một khi xuất hiện từ trong trật tự của Vũ trụ, ắt phải ca ngợi cái trật tự đó, khi đã hiểu được nó. Khả năng của bộ não con người hiểu được các quy luật tự nhiên không phải là chuyện ngẫu nhiên đơn thuần mà đó là sự phản ánh mối liên hệ vũ trụ khăng khít giữa con người và thế giới.

Hiệu quả đến phi lý của toán học

Niềm tin rằng những quy luật của Tự nhiên có thể được diễn đạt bằng toán học chính là nền tảng của phương pháp khoa học. Một vài nhà toán học thậm chí còn tuyên bố một cách thái quá rằng bất cứ một bộ môn nào, nếu không thể diễn đạt bằng ngôn ngữ toán học, thì không thể coi là "khoa học" được. Ý tưởng cho rằng thế giới vật lý chỉ là sự phản ánh của trật tự toán học, đã ra đời như những ý tưởng khác ở Hy Lạp cổ đại cùng với nhà toán học Hy Lạp Pythagoras (thế kỷ VI trước CN). "Con số là nguyên lý và cũng là nguồn gốc của mọi sự vật", ông đã từng nói như vậy. Ý nghĩa của Tự nhiên nằm trong sự hài hòa của các con số. Những số chẵn gắn liền với nữ tính và với Đất mẹ, trong khi các số lẻ thể hiện nam tính và Trời. Mỗi con số đều có ý nghĩa của nó: số 4 là biểu tượng của công lý, trong khi số 5 gắn liền với hôn nhân. Ý tưởng về một trật tự toán học của thế giới phát triển rất rộng rãi ở Châu Âu thời Phục hưng, với các công trình của Galileo, Newton và Descartes. Các nhà bác học này diễn đạt các quy luật tự nhiên bằng các định luật toán học. Galileo từng tuyên bố: "Cuốn sách của Tự nhiên được viết bằng ngôn ngữ toán học".

Thành công đáng kinh ngạc của toán học trong việc mô tả thực tại là một trong số những bí mật sâu xa nhất. Thực vậy, việc toán học mô tả thế giới vật lý một cách tài tình như vậy đòi hỏi một sự giải thích, bởi vì đây hoàn toàn không phải là chuyện đương nhiên phải như thế. Nhà vật lý người Mỹ gốc Hung Eugène Wigner (1902-1995) đã bầy tỏ sự ngạc nhiên của mình khi nói về "tính hiệu quả đến phi lý của toán học" trong việc mô tả Tự nhiên. Tại sao lại có sự thích ứng như vậy giữa thế giới và toán học? Tại sao các thực thể trừu tượng, nảy sinh từ bộ óc của các nhà toán học và

nói chung chẳng có lợi gì đối với cuộc sống hằng ngày, lại có thể hòa đồng với các hiện tượng Tự nhiên? Tại sao tư duy thuần túy lại kết hợp được với cái cụ thể?

Không có một ai đề xuất rằng thành công của toán học trong việc mô tả thế giới chỉ là một hiện tượng văn hóa: do con người yêu toán học nên mới sử dụng nó để mô tả Tự nhiên. Nói cách khác, bản chất toán học của thế giới không phải là cái thuộc nội tại của nó, mà là do con người áp đặt. Sự tiến hóa theo thuyết Darwin đã tạo ra bộ óc con người khiến cho nó yêu toán học; và điều này thúc đẩy con người chỉ tìm kiếm những khía cạnh của Tự nhiên có thể mô tả bằng ngôn ngữ đó. Những người ngoài Trái đất có một tiến hóa sinh học hoàn toàn khác và có bộ não không giống bộ não của chúng ta, chắc sẽ không nghĩ rằng Tự nhiên là toán học.

Đúng là các nhà khoa học thích sử dụng toán học để nghiên cứu Tự nhiên và thường chọn lọc, trong tất cả các vấn đề, những vấn đề có thể giải quyết được bằng toán học. Những khía cạnh Tự nhiên ít thích hợp để xử lý bằng toán học thường bị bỏ qua hoặc xem nhẹ, như các hiện tượng phi tuyến hỗn độn chẳng hạn. Cũng thường thấy một khuynh hướng không đúng đắn của một số nhà nghiên cứu, khi họ tuyên bố rằng chỉ có những khía cạnh của Tự nhiên có thể xử lý bằng toán học mới được coi là "cơ bản", điều này thúc đẩy họ đi đến kết luận một cách đẳng lập (*tautologique*) rằng "các khía cạnh cơ bản của Tự nhiên đều là toán học!". Nhưng tôi không nghĩ rằng đặc tính toán học của thế giới là một hiện tượng thuần túy văn hóa và nó chỉ là kết quả của sự ưa thích toán học của con người. Lý do như sau: phần lớn toán học được xây dựng theo cách hoàn toàn trừu tượng, không quan tâm gì đến ứng dụng thực tiễn trong thế giới Tự nhiên. Các nhà toán học đã nghiên cứu các

con số, các hình hình học vì lợi ích toán học của họ, chứ không phải như những công cụ dùng để mô tả Tự nhiên. Các nhà vật lý luôn luôn là những người đầu tiên bị bất ngờ. Khi được dẫn tới một địa bàn xa lạ bởi một hiện tượng vật lý mới, họ bao giờ cũng phát hiện ra rằng các nhà toán học đã đến đó trước họ, không phải do Tự nhiên dẫn dắt mà là do tư duy thuần túy. Sự tương hợp bất ngờ và gây bối rối này giữa toán học và hiện thực lại là một bằng chứng nữa chứng tỏ sự tồn tại độc lập của toán học trong thế giới các Ý niệm của Platon. Nếu toán học là sự phát minh thuần túy của trí óc con người, thì sự tương hợp này đã không thể xảy ra.

Những ví dụ về "tính hiệu quả đến phi lý của toán học" không thiếu gì trong lịch sử của vật lý học. Vào những năm 1920, khi Einstein phát hiện ra rằng lực hấp dẫn làm cong không gian, thì ông không còn có thể sử dụng hình học Euclide được nữa, vì hình học này chỉ mô tả được các không gian phẳng. Lúc đó ông hết sức sung sướng khi tìm thấy những kết quả của nhà toán học Đức Berhard Riemann (1826-1866), người đã khám phá và phát triển các hình học phi Euclide từ thế kỷ XIX. Hiển nhiên là Einstein đã không ép thứ toán học phi Euclide đó cho Tự nhiên, bởi vì ông không hề biết nó từ trước. Cũng tương tự như thế, nhà toán học trẻ Evariste Galois đã phát triển lý thuyết nhóm từ khá lâu trước khi lý thuyết này được ứng dụng rộng rãi trong vật lý các hạt cơ bản ở thế kỷ XX[1]. Đã nhiều lần tư duy thuần túy đi trước cái cụ thể! Thậm chí tới mức, khi điều đó không xảy ra, các nhà vật lý lại cảm thấy hết sức bất ngờ (ví như trường hợp lý thuyết "siêu dây".

1. "Nhóm" là một cấu trúc toán học cho phép diễn đạt được khái niệm đối xứng, mà như chúng ta đã biết, đối xứng là một trong những nguyên lý quý báu nhất của Tự nhiên để xây dựng nên sự phức tạp. "Nhóm" cũng cho phép thống nhất các họ hạt cơ bản lại với nhau.

Lý thuyết này nói rằng các hạt cơ bản tương tự như dao động của các dây, trong đó các kỹ thuật toán học hoàn toàn chưa có sẵn mà cần phải phát triển).

Mô hình toán học không phải là cái duy nhất cần phải đề xuất để mô tả Tự nhiên. Aristoteles cho rằng Tự nhiên là một cơ thể sống. Đối với một số người khác thì đó là một cỗ máy. Nhưng chỉ có mô hình toán học là có giá trị hơn cả.

Số học và Tự nhiên

Có thể giải thích sự thích ứng kỳ lạ giữa toán học và Tự nhiên bằng sự tồn tại của các hệ thống vật lý trong thế giới Tự nhiên, cho phép làm các phép tính như tính cộng, tính trừ, hoặc tính nhân. Các phép đếm, cộng hoặc trừ đối với chúng ta dường như là những phép tính thông thường và tự nhiên đến mức chúng ta không thể quan niệm được một thế giới mà trong đó các phép tính này không thể thực hiện được. Tuy nhiên, trong một thế giới mà ở đó các định luật vật lý hoàn toàn khác và các vật thể vật chất không thể tách ra được thành những thực thể khác nhau thì các phép tính trên là không thể có được. Chẳng hạn thời xưa, số học được sử dụng với mục đích thực tiễn là đếm các con cừu trong đàn cừu hoặc đếm tiền trong hầu bao. Các phép tính này sẽ không thể thực hiện được nếu các con cừu và các đồng tiền, thay vì là những thực thể rời biệt và là những đơn vị rời rạc, lại là những thực thể liên tục và không thể phân tách ra được, như các đợt sóng của một dòng sông chảy ra biển. Riêng việc chúng ta có thể nói “9 con cừu + 5 con cừu = 14 con cừu”, hoặc gán một con số trừu tượng cho một tập hợp các vật thể, cũng đã là tuyệt vời rồi.

Thực vậy, việc thế giới vật lý cho phép thực hiện các phép tính

số học có một hệ quả rất quan trọng: nó muốn nói lên rằng thế giới đó là có thể tính toán được. Như vậy các máy tính mới có thể tính toán được các mô hình Vũ trụ, mô hình các thiên thể, mô hình các vì sao. Chúng cho phép chúng ta mô phỏng sự va chạm của các thiên hà hoặc theo dõi sự hình thành của một ngôi sao, khởi đầu từ sự co lại của một đám mây khí. Nếu Vũ trụ không thể tính toán được, thì hiểu biết của chúng ta về Vũ trụ chắc hẳn sẽ kém đi rất nhiều.

Sự thách thức của Hilbert

Vì có sự thích ứng giữa toán học và thực tại, vì các con số là bản thể của Tự nhiên, nên toán học cho phép chúng ta tiến bộ trên con đường đi tới giải các mật mã của Vũ trụ. Nhưng chính toán học cũng đã phát lộ cho thấy rằng tư duy lý tính có một giới hạn, rằng điều bí mật ở cuối con đường sẽ không bao giờ có thể khám phá ra chỉ bằng suy lý, và bí mật của giai điệu cũng không thể đột phá chỉ bằng lôgic thuần túy. Những giới hạn đó của tư duy lý tính đã được xác lập nhờ công trình xuất sắc của nhà toán học thiên tài người Áo Kurt Gödel (1906-1978) nhằm đáp lại sự thách thức của nhà toán học Đức David Hilbert (1862-1943).

Tại Hội nghị toán học quốc tế họp tại Paris năm 1900, trong một bài diễn văn nổi tiếng, để đánh dấu sự khởi đầu của thế kỷ mới, nhà toán học này đã nêu lên một danh sách gồm hai mươi ba bài toán được ông coi là quan trọng nhất của toán học. Mong muốn của ông là "vén lên bức màn còn che phủ tương lai, nhằm dự báo những tiến bộ của toán học trong các thế kỷ tiếp theo". Sự lựa chọn các bài toán này chứng tỏ một sự tiên đoán sáng suốt và một nhãn quan sắc sảo về toàn cảnh toán học của thời kỳ đó. Kể từ đó, những bài

toán đã được giải quyết thể hiện nhiều khía cạnh mới và rất có hiệu quả, trong khi các bài toán còn chưa được giải quyết thì vẫn là đối tượng nghiên cứu của nhiều tập thể các nhà khoa học.

Bài toán được Gödel chú ý tới là bài toán thứ hai trong danh sách được viết như sau: "Chứng minh sự nhất quán của hệ các tiên đề số học". Sự thách thức mà Hilbert đưa ra cho các đồng nghiệp là tìm một thủ tục tổng quát cho phép nói được tất cả các mệnh đề của số học là đúng hay sai, và như vậy có thể đặt số học (và sau này là toàn bộ toán học) trên một cơ sở lôgíc nhất quán. Mục đích của Hilbert là "hình thức hóa" toán học, tức là diễn đạt tất cả mọi mệnh đề toán học thành một chuỗi những ký hiệu. Sau đó, sự chứng minh chỉ còn là một dãy những thao tác trên các ký hiệu đó. Nếu một thủ tục tổng quát như vậy được tìm ra thì chỉ cần thực hiện một cách máy móc một loạt các thao tác xác định từ trước (mà máy cũng có thể làm được) là đi đến kết quả, chẳng cần quan tâm gì đến ý nghĩa của các ký hiệu. Lúc đó người ta sẽ chứng minh một định lý toán học giống như nấu một món ăn theo sự chỉ dẫn có sẵn trong sách. Đây là một chương trình mang tính quy giản luận theo đúng nghĩa đen của từ này: toán học được quy giản về một tập hợp những ký hiệu, còn các ý tưởng và những ứng dụng đem lại một ý nghĩa cho các ký hiệu đó đều bị quét sạch và thải loại. Như vậy, toán học được quy về thành một trò chơi hình thức của sự sắp xếp lại các ký hiệu mà thôi. Chúng cần một sự nhất quán chứ không cần ý nghĩa. Hilbert cho rằng nhờ một thủ tục như vậy, mọi vấn đề toán học sẽ được giải quyết. Ông thích nhắc đi nhắc lại một cách mạnh mẽ và cao giọng rằng: "Chúng ta phải biết. Và chúng ta sẽ biết" (Câu châm ngôn này theo ý nguyện của Hilbert đã được khắc trên bia mộ của ông).

Cái ước muốn "hình thức hóa" này của Hilbert là điều có thể hiểu được. Suy cho cùng thì hầu hết chúng ta, trong đời sống hằng ngày đều thực hành toán học một cách hình thức. Khi chúng ta làm tính cộng hay tính trừ để kiểm tra số thu chi trong tài khoản ngân hàng, chúng ta thường làm theo các quy tắc đơn giản để đi tới kết quả mà không cần quan tâm gì đến ý nghĩa của chúng. Khi viết 7 x 4 = 28, chúng ta chẳng cần biết các con số 7 và 4 và ký hiệu x có ý nghĩa gì. Chúng ta chỉ cần biết các con số và các ký hiệu, và thực hiện một cách máy móc theo bản cửu chương. Khi còn là đứa trẻ, chúng ta thường gắn các con số với các đồ vật (ví dụ các ngón của bàn tay), song nhu cầu này sẽ mất đi khi chúng ta lớn lên và có khả năng trừu tượng hóa tốt hơn. Đến cấp trung học, chúng ta không còn phải nhăn nhó trong các tiết học đại số, khi người ta yêu cầu chúng ta phải tính toán với các đại lượng trừu tượng được ký hiệu bằng *x* hay *y* nữa. Một số người trong chúng ta đi xa hơn trong việc nghiên cứu toán học. Họ hằng ngày phải thao tác với những thực thể toán học hoàn toàn tách khỏi thực tại vật lý, như những "số phức" hoặc những "phần tử" của một nhóm chẳng hạn. Do vậy, giấc mơ lớn của Hilbert là có thể hiểu được. Song liệu nó có thực hiện được hay không?

Gödel và những giới hạn của tư duy

Nhà toán học trẻ Kurt Gödel đã xuất sắc nhận lời thách thức của Hilbert vào năm 1931, nhưng không phải theo hướng mà Hilbert mong muốn. Thay vì đi tìm một thủ tục tổng quát để chứng minh tính đúng đắn của mọi mệnh đề toán học, Gödel lại chứng minh rằng một thủ tục như vậy là không thể có. Ông đã đạt được kết quả sau đây, một kết quả có lẽ là kỳ lạ nhất và cũng bí hiểm nhất

trong toán học: một hệ thống số học nhất quán và phi mâu thuẫn, bao giờ cũng chứa những mệnh đề "không thể quyết định được", tức là những mệnh đề toán học mà người ta không bao giờ có thể khẳng định được là đúng hay sai; mặt khác, người ta cũng không thể chứng minh được một hệ thống là nhất quán và phi mâu thuẫn nếu chỉ dựa trên các tiên đề chứa trong hệ thống này; để làm điều đó, cần phải đi ra ngoài hệ thống và áp đặt một hoặc nhiều tiên đề phụ ở bên ngoài hệ thống đó. Với ý nghĩa ấy, hệ thống tự nó là không đầy đủ. Vì vậy mà định lý của Gödel thường được gọi là định lý về "tính không đầy đủ" hay định lý bất toàn.



Hình 60. *Kurt Gödel (1906 - 1978*). Một định lý toán học nổi tiếng mang tên ông và định lý này thường được xem là một phát minh lôgic học quan trọng nhất của thế kỷ XX. Đinh lý Gödel nói rằng toàn bộ số học có chứa những mệnh đề mà tính đúng đắn của nó chỉ có thể chứng minh được bằng cách phải thêm vào những tiên đề nằm ngoài hệ thống. Nói một cách khác, chân lý toàn bộ không được khoanh trong một hệ thống hữu hạn. Toàn bộ hệ thống hữu hạn là không đầy đủ. Định lý về "tính không đầy đủ" hay định lý bất toàn dẫn tới một hệ quả là lý trí có những giới hạn và nó không thể đạt tới chân lý tuyệt đối được.

Định lý này giống như một tiếng sấm giữa bầu trời trong xanh của toán học mà hậu quả của nó thật rộng lớn. Sự tồn tại những mệnh đề không thể quyết định được dường như đã đánh ngay vào nền tảng lôgic của toán học. Định lý Gödel đã làm tiêu tan giấc mộng quy giản luận của Hilbert nhằm hình thức hóa toàn bộ toán học. Để khẳng định tính đúng đắn của một mệnh đề toán học, chỉ quy nó về một dãy các ký hiệu mất hết ý nghĩa và thao tác trên các ký hiệu đó thôi là chưa đủ. Còn cần phải tính đến ý nghĩa của toàn bộ mệnh đề đó trong một bối cảnh rộng hơn của các ý tưởng toán học nữa.

Hilbert không bao giờ chấp nhận ý nghĩ rằng định lý Gödel đã làm cho chương trình to lớn của ông trở thành lỗi thời. Ông vẫn kiên trì các đề tài của mình cho đến khi ông mất vào năm 1943. Còn về định lý Gödel, nó đã có ảnh hưởng vang dội cả ra ngoài lĩnh vực toán học. Tiếng vang của định lý ấy còn dư âm đến tận ngày nay trong các lĩnh vực tư duy khác như triết học hoặc tin học.

Những nghịch lý làm tổn hại lôgic học

Thực ra, trước khi nổ ra tiếng sét của Gödel, trên bầu trời toán học, tất cả không phải là hoàn toàn quang đãng. Đã có nhiều dấu hiệu báo trước những cơn giông tố lớn, những đám mây đen đã phủ kín chân trời. Đặc biệt, người ta biết rằng có những điểm yếu lôgic đã được bộc lộ khi đề cập tới các mệnh đề tự-quy chiếu, tức là những mệnh đề tự nói về mình. Ví dụ, ta hãy xét mệnh đề: "Câu này là sai". Nếu câu này là đúng, thì nó là sai. Còn nếu câu này sai, thì nó lại là đúng. Lôgic quả là đã bị nhạo báng và dẫn đến chỗ tắc tị. Thực ra, người cổ đại cũng đã từng biết đến loại nghịch lý lôgic này. Thánh Paul (khoảng năm 5-15 – khoảng năm 62-64) khi nêu

một ví dụ về loại nghịch lý này đã nói về triết gia xứ Crête, người đã tuyên bố: "Tất cả dân đảo Crête đều là nói dối". Nếu triết gia này nói thật, thì tức ông ta nói dối, vì ông ta cũng là người đảo Crête. Ngược lại, nếu triết gia này nói dối, tức thị là ông ta nói thật.

Nhà toán học và triết gia người Anh Bertrand Russell (1872-1970) đã chứng minh rằng loại mâu thuẫn lôgic này không phải do những khó khăn về ngữ nghĩa gắn liền với một ngôn ngữ cụ thể nào đó, mà chúng xuất hiện trong mọi sự biểu diễn bằng ký hiệu hoặc bằng toán học. Chính bản thân Russell cũng đã đưa ra nhiều ví dụ, chẳng hạn như người thợ cạo thành Seville. "Một người dân thành Seville được người thợ cạo thành Seville cạo râu cho, khi và chỉ khi anh ta không tự cạo râu được cho mình. Thế thì người thợ cạo thành Seville có tự cạo râu cho mình không?" Nếu anh ta tự cạo râu cho mình, tức là anh ta chỉ có thể được cạo râu bởi người thợ cạo thành Seville (cũng là chính anh ta -ND), do vậy anh ta không thể tự cạo râu cho mình. Còn nếu anh ta không tự cạo râu cho mình, thì anh ta sẽ được thợ cạo thành Seville (cũng chính là anh ta) cạo râu cho, mà như vậy có nghĩa là anh ta tự cạo râu được cho mình...

Chính Russell, người đã từng mơ tưởng đặt toán học trên một nền tảng lôgic học vững chắc, cũng đã cảm thấy những mâu thuẫn lôgic làm tổn hại đến dự định lớn lao của ông. Chúng ta hãy nghe ông nói về sự thất vọng sâu sắc của mình:

"Lúc đầu tôi nghĩ rằng mình có thể vượt qua mâu thuẫn đó một cách dễ dàng. Dần dần tôi mới hiểu ra rằng hoàn toàn không phải như vậy. Mỗi buổi sáng, tôi đều ngồi trước trang giấy... cho đến chiều tối, đôi khi trang giấy vẫn còn trắng nguyên. Hai mùa hè năm 1903 và 1904 vẫn còn ghi dấu ấn trong tâm trí tôi như một thời kỳ bế tắc trí tuệ hoàn toàn. Đương nhiên là tôi không thể tiếp tục công

việc của mình, nếu không giải quyết được những mâu thuẫn đó, và tôi quyết định không để một trở ngại nào ngăn cản tôi hoàn thành cuốn *Principia Mathematica*[1] (Những nguyên lý của toán học). Nhưng rất có thể là tôi sống hết những năm tháng cuối đời mình mà vẫn còn nhìn thấy trang giấy để trắng. Càng bực mình hơn nữa khi tôi thấy rằng những mâu thuẫn này hầu như là vô nghĩa, và tôi có cảm tưởng là mình đã bỏ phí thì giờ để nghiên cứu những đề tài không đáng phải tốn công sức như thế".

Chính một phần để rũ bỏ những mâu thuẫn lôgic gây bực mình này mà Hilbert đã tung ra chương trình hình thức hóa toán học của ông. Mặc dù đã có các công trình của Russell, nhưng ông vẫn nghĩ rằng những khó khăn này đều ở mức ngữ nghĩa và chúng sẽ biến mất nếu người ta lấy đi ý nghĩa của các mệnh đề toán học và biến những mệnh đề đó thành một dãy các ký hiệu. Như chúng ta đã thấy, Gödel đã chứng minh rằng giấc mộng của Hilbert và Russell đặt toán học trên nền tảng lôgic chỉ là ảo tưởng. Trong khi cặm cụi nghiên cứu mối quan hệ giữa việc mô tả toán học với chính bản thân toán học, ông khám phá ra rằng những mâu thuẫn lôgic đã từng làm rối ren các mệnh đề tự quy chiếu cũng đều hiện diện trong các mệnh đề toán học. Giống như người ta không thể quyết định được liệu tất cả những người dân đảo Crête đều nói dối hay không, hay là như anh thợ cạo thành Seville có tự cạo râu cho mình hay không, người ta cũng không thể quyết định được một số mệnh đề toán học là đúng hay không. Bởi vì tồn tại những mệnh đề không thể quyết định được, nên một hệ thống tự nó không bao giờ có thể là đầy đủ.

1. Đây là tác phẩm lớn của B. Russell, được xuất bản vào những năm 1910-1913 với sự cộng tác của nhà toán học Anh Alfred Whilehead (1861 - 1947). Cuốn sách có ý định xây dựng lôgic học thành cơ sở của những khái niệm và của các mệnh đề toán học.

Một lỗi lôgic trong Hiến pháp Hoa Kỳ

Gödel di cư sang Mỹ vào năm 1938. Đối với con người có đầu óc hoàn toàn lôgic này, cuộc sống hằng ngày đôi khi lại tỏ ra khó có thể chịu đựng được. Câu chuyện sau đây về việc nhập quốc tịch Mỹ của nhà lôgic học thiên tài vào năm 1948 đã chứng minh điều đó.

Để có quốc tịch Mỹ, ông phải nghiên cứu Hiến pháp Hoa Kỳ và phải chứng minh cho vị thẩm phán địa phương thấy rằng ông có một hiểu biết chung tương đối tốt về bản Hiến pháp này. Về phía mình, ông còn phải có hai người làm chứng có thể bảo lãnh cho ông về mặt hạnh kiểm. Ông không thể chọn ai khác có uy tín hơn, bởi vì một trong hai người đó không phải ai khác mà chính là Einstein, bạn và đồng nghiệp của ông tại Viện nghiên cứu cao cấp Princeton. Người thứ hai là nhà kinh tế người Mỹ gốc Áo Oskar Morgenstern (1902-1977). Trước ngày tiếp kiến viên thẩm phán, Morgenstern gặp Gödel trên điện thoại. Gödel đang còn rất xúc động, báo tin rằng mình vừa phát hiện ra một lỗi lôgic trong bản Hiến pháp Hoa Kỳ, lỗi này có thể dẫn đến việc thiết lập một chế độ độc tài ở Mỹ. Morgenstern đã làm mọi cách trấn an Gödel, bảo đảm với ông ta rằng việc này thật phi lý và nài nỉ Gödel trong bất kỳ trường hợp nào cũng không nên nói với vị thẩm phán về phát hiện này, trong lúc diễn ra cuộc phỏng vấn.

Hôm sau, trong cuộc phỏng vấn, vị thẩm phán mở đầu câu chuyện bằng một nhận xét: “Ông thuộc quốc tịch Đức?”. “Không, tôi là người Áo”, Gödel chữa lại. Không chút bối rối, vị thẩm phán nói tiếp: “Dù sao đi nữa ông cũng đã sống dưới một chế độ độc tài... May thay điều đó đã không xảy ra ở Mỹ!”. Tiếng “độc tài” vừa buông ra, Gödel liền không kìm mình được nữa: “Trái lại, tôi có

thể chứng minh rằng điều đó có thể xảy ra". Cả ba người, Einstein, Morgenstern và vị thẩm phán phải cùng nhau hợp sức trấn an Gödel và ngăn không để ông trình bày dài dòng về cái lỗi lôgic trong Hiến pháp Mỹ. Nhưng cái gì tốt rồi cũng sẽ kết thúc tốt đẹp. Viên thẩm phán không giận Gödel và ông đã được nhận Quốc tịch Mỹ.

Sự giải phóng vật chất

Chúng ta đã đi đến chặng cuối của cuộc thám hiểm và đã đến lúc phải tổng kết lại những suy ngẫm của chúng ta. Trong các cuộc du hành vào thế giới khoa học, chúng ta đã chứng kiến sự xuất hiện của một cách nhìn mới về thế giới. Cách nhìn này không khác với cách nhìn đã từng xuất hiện cùng với Newton vào thế kỷ XVII và đã từng ngự trị thế giới trong suốt ba thế kỷ.

Trong thế giới Newton, vật chất chỉ là thứ trơ ì, phục tùng một cách nô lệ và mù quáng các lực bên ngoài và hoàn toàn không có tính sáng tạo. Vũ trụ chỉ là một bộ máy bôi trơn dầu mỡ, một chiếc đồng hồ đã được điều chỉnh với một độ chính xác cao, và một khi đã được lên giây cót, nó sẽ tự vận hành theo các quy luật hoàn toàn mang tính quyết định luận. Sự tự do và bay bổng hoàn toàn bị loại trừ. Hành vi của mỗi nguyên tử đã được quyết định từ trước, điều này đã kích thích Laplace tuyên bố rằng: nếu biết được trạng thái hiện nay của Vũ trụ thì toàn bộ tương lai của nó sẽ được xác định. Thời gian không còn chỗ đứng nữa, tương lai đã được chứa đựng trong quá khứ và hiện tại. Cuốn Sách Lớn (về thế giới) đã được viết sẵn, và như nhà hóa học Bỉ Ilia Prigogine đã nói: "Thượng đế bị quy giản về vai trò của một người lưu trữ chỉ có nhiệm vụ là lật giở các trang của cuốn sách Vũ trụ ấy". Mặt khác, cái "quả"

luôn luôn tỷ lệ với cái "nhân" và cái toàn thể chỉ đơn giản là tổng số học của các bộ phận, không hơn không kém. Điều này khiến cho Tự nhiên có thể được nghiên cứu bằng cách quy nó về những bộ phận cấu thành đơn giản hơn của nó. Cách nhìn máy móc, duy vật và mang tính quy giản luận này về thế giới đã tràn sang nhiều lĩnh vực khác. Trong sinh học, các cơ thể sống trở thành những "cỗ máy di truyền", những tập hợp các hạt tuân theo các lực một cách mù quáng. Các hiện tượng sinh học và tinh thần chỉ còn là những quá trình vật lý, có thể được giải thích thông qua vật chất hoặc năng lượng.

Cách tiếp cận quy giản luận và duy vật chắc chắn đã góp phần quan trọng vào việc tìm hiểu thế giới, bằng cách cho phép tách riêng và nghiên cứu các mảnh nhỏ của thực tại, mà không cần hiểu cái toàn thể. Nhưng chắc chắn cách tiếp cận đó cũng góp phần phá vỡ mối liên hệ đã có từ xưa của con người với Vũ trụ và làm cho con người trở nên xa lạ với thế giới mà họ sinh sống. Bị mất tinh thần, mất nhân cách, mất giá trị và mất phương hướng, con người cảm thấy vô vọng trong một cỗ máy mênh mông vô tình và nghiệt ngã, mà họ không thể kiểm soát nổi. Nếu khoa học duy vật chất này từng bước lùi xa và tách khỏi phần còn lại của nền văn hóa, thì cách nhìn buồn tẻ và thất vọng của một người máy không có ý chí và sáng tạo đó sẽ là không thể chấp nhận được.

Thế kỷ XX đã chứng kiến sự ra đời của cơ học lượng tử làm thay đổi hoàn toàn quan niệm của chúng ta về vật chất. Cỗ máy quyết định luận của Newton đã được thay thế, ở mức độ nội nguyên tử, bởi một thế giới ma quái của các sóng và các hạt, không bị chi phối bởi các định luật cứng nhắc của tính nhân quả, mà bởi các định luật mang tính giải phóng của cái ngẫu nhiên. Vật chất thậm chí đã mất đi cả bản thể của nó: không gian trống rỗng nhung

nhúc những hạt ảo tồn tại phù du như ma quái. Lý thuyết siêu dây tìm kiếm sự thống nhất các lực cơ bản của Tự nhiên, chỉ ra rằng các hạt vật chất chỉ là những dao động của "các dây" vô cùng nhỏ trong một Vũ trụ 10 chiều. Quyết định luận của Newton và Laplace đã bị quét sạch. Nguyên lý bất định của Heisenberg nói rằng chúng ta không bao giờ có thể biết trước hành trạng của các electron. Sự không thể tiên đoán được này không phải là do sự ngu dốt của chúng ta, cũng không phải do chúng ta không thể chế tạo được những dụng cụ đo lường hoàn hảo hơn, mà vì đó là một tính chất nội tại của Tự nhiên ở cấp độ nguyên tử.

Tuy nhiên, theo một cách nào đó, những tàn tích của quyết định luận vẫn còn tồn tại một cách dai dẳng. Nếu một sự kiện lượng tử cá thể là bất định, thì những xác suất tương đối của một tập hợp các khả năng lại hoàn toàn là xác định và khiến cho nó có thể tiên đoán được theo các định luật của thống kê. Chẳng hạn dù không thể tính được quỹ đạo của một electron một cách chính xác, người ta lại hoàn toàn có thể tính được xác suất tìm thấy nó ở nơi này hoặc nơi kia. Mặt khác, cũng chính do những tàn tích này của quyết định luận mà máy tính xách tay hoặc dàn hi-fi của bạn mới có thể vận hành được. Dù hành trạng của một electron riêng rẽ trong mạch điện tử của các đồ dùng này là không thể tiên đoán được, nhưng tập hợp các electron lại không có một hành trạng ngẫu nhiên, mà được xác định bởi các quy luật của xác suất. Cơ học lượng tử đem lại luồng gió giải phóng cho mỗi hạt cá thể, nhưng vẫn ràng buộc các tập hợp hạt, xét theo thống kê.

Các tàn tích của quyết định luận chỉ bị quét sạch cùng với sự xuất hiện của hỗn độn. Hỗn độn hiện hữu khi một sự thay đổi nhỏ của những nguyên nhân ban đầu trong một hệ thống dẫn đến sự thay đổi quá mức của các kết quả. Cái quả bây giờ không còn tỷ lệ

với cái nhân nữa. Một cái đập cánh của con bướm ở đảo Reunion có nguy cơ dẫn đến bão tố ở New York. Sự nhạy cảm cực kỳ này với điều kiện ban đầu làm cho hành trạng của một hệ thống hỗn độn trở nên không thể tiên đoán được, bởi vì điều kiện này không bao giờ có thể được biết một cách hoàn toàn chính xác. Cũng giống như đối với tính bất định lượng tử, sự bất khả này không phải là do những giới hạn của con người, mà là một tính chất nội tại của Tự nhiên. Hỗn độn giải phóng vật chất khỏi xích xiềng của quyết định luận. Nó cho phép Tự nhiên bộc lộ tính sáng tạo, để làm ra sự phức tạp. Sự đa dạng, phong phú và vẻ đẹp của thế giới là kết quả của một sự pha trộn tinh tế giữa các hiện tượng hỗn độn và những hiện tượng khác. Mặc dù chúng ta không thể dự báo thời tiết trong một tháng, nhưng trong một tương lai rất xa, chúng ta vẫn có quyền chờ đợi Mặt trời sẽ mọc ngày hôm sau và mùa xuân sẽ trở lại mỗi năm làm cho cây cối lại nở hoa.

Người ta có thể tự hỏi: nếu hỗn độn tiếp tay cho tính bất định lượng tử để khuếch đại thêm tính không thể tiên đoán được của Vũ trụ ở mức nội nguyên tử, thì liệu có hỗn độn lượng tử hay không? Một số người nghĩ rằng thực ra những hiệu ứng lượng tử có tác dụng điều tiết đối với hỗn độn. Thay vì khuếch đại lên, các hiệu ứng này làm cho hỗn độn được giảm bớt. Song câu trả lời dứt khoát cho vấn đề này còn chưa được biết.

Thời gian đã được tìm lại

Hỗn độn giải phóng vật chất ra khỏi sức ỳ của nó. Hỗn độn cho phép Tự nhiên cuốn vào trò chơi sáng tạo, sinh ra những cái mới, chưa hề chứa đựng trong các trạng thái trước đó. Số phận của nó được coi là "mở", tương lai của nó không còn bị quyết định bởi

hiện tại và quá khứ nữa. Giai điệu không phải được sáng tạo một lần là xong. Nó hình thành dần dần. Thay vì phải đi theo một bản tổng phổ của âm nhạc cổ điển, trong đó mỗi nốt nhạc đều có vị trí của mình và không thể bị thay đổi hoặc xoá bỏ nếu không muốn phá vỡ sự cân bằng tinh tế của bản nhạc, Tự nhiên thích chơi nhạc jazz hơn[1]. Tựa như một nhạc công jazz thường chơi theo kiểu ngẫu hứng và bay bướm xung quanh một chủ đề chung, để tạo ra những âm thanh mới tùy theo cảm hứng và theo phản ứng của công chúng, Tự nhiên cũng hay tỏ ra bột phát và "ham chơi" với các quy luật Tự nhiên để tạo ra cái mới. Và Tự nhiên không thiếu những tính chất đó. Chỉ cần nhìn sự phong phú và đa dạng muôn hình muôn vẻ của các loài động vật và thực vật xung quanh ta, và ở cả những nơi không thể tưởng tượng nổi hoặc chẳng hiếu khách chút nào, là đủ thấy điều đó. Từ những nơi ở sâu dưới biển, sâu đến mức ánh sáng không thể lọt tới, đến các hoang mạc khắc nghiệt nhất, từ những mạch nước phun nóng bỏng nhất tới các khối băng giá lạnh nhất, ở đâu Tự nhiên cũng phô bày sức sáng tạo của mình. Để tránh các vấn đề nảy sinh, Tự nhiên phát minh ra không phải một, mà hàng nghìn giải pháp. Nhà vật lý Mỹ gốc Anh Freeman Dyson đã diễn tả sự sinh sôi nảy nở của sức sáng tạo này bằng một nguyên lý mà ông gọi là "sự đa dạng tối đa": các định luật vật lý và những điều kiện ban đầu của Vũ trụ phải đạt tầm nhất định mới tạo ra được một thế giới lý thú và đa dạng nhất có thể[2]. Vì tương lai không còn chứa đựng trong hiện tại và quá khứ nữa, nên thời gian đã tìm lại được chỗ đứng hoàn toàn riêng biệt của mình. Cuốn Sách Lớn của Vũ trụ còn phải được viết tiếp

---

1. Hubert Reeves, *Patience dans l'azur*, Le Seuil, Paris, 1981
2. Nguyên lý này dựa trên trực giác và còn xa mới được chứng minh, vì chúng ta còn chưa biết biểu diễn cái gọi là "tính đa dạng" một cách định lượng như thế nào.

và Thượng đế không còn là người lưu trữ ngồi lật giở các trang của cuốn sách đã kết thúc nữa.

Vật chất đã mất đi vai trò trung tâm của nó. Chiếm tiền cảnh của sân khấu đồng thời đóng vai trò tổ chức vật chất và cho phép nó đạt được sự phức tạp chính là các nguyên lý. Trong một số hệ thống, ở đó cái toàn thể lớn hơn tổng của các bộ phận cấu thành, các nguyên lý đột sinh có vai trò hàng đầu. Hệ thống từ vựng cũng đã thay đổi. Thay vì các hình ảnh như "máy móc", "đồng hồ" là các thuật ngữ mang tính sinh học nhiều hơn vật lý như "thích nghi", "thông tin" hoặc "tổ chức". Cách nhìn mới mẻ này về thế giới đã tràn sang cả các lĩnh vực khác trong hoạt động của con người. Chẳng hạn trong kinh tế, vật chất cũng đã mất đi vai trò hàng đầu của nó. Từ khi có cuộc cách mạng công nghiệp, vật chất (các mỏ sắt, than đá v.v...) tạo thành một trong những nguồn của cải chủ yếu của các quốc gia. Nhưng người ta ngày càng tin rằng sự thịnh vượng của các quốc gia vào cuối thế kỷ XX và sang thế kỷ sau không phải là sự khai thác các tài nguyên vật chất nữa, mà là sự làm chủ công nghệ truyền thông tin (ví dụ mạng Internet) và những chiến lược tổ chức. Thế giới vật chất của các hạt trơ ỳ đang nhường chỗ cho một thế giới rung động của những sự tuôn trào sáng tạo khởi phát từ trí tuệ con người.

Một thế giới ngẫu nhiên và một Chúa Trời tất yếu

Sự sáng tạo mà vật chất vừa mới được ghi nhận và sự giải phóng nó ra khỏi gông cùm của quyết định luận đã cho chúng ta một ánh sáng mới. Nó giúp ta xem xét lại vấn đề lưỡng phân giữa thế giới đầy biến đổi của kinh nghiệm và thế giới bất biến của các Hình thái vĩnh cửu, giữa một Thượng đế bất di bất dịch và vĩnh cửu, tồn

tại ngoài không gian và thời gian với sự biểu hiện của Ngài trong một Tự nhiên đầy biến đổi và ngẫu nhiên. Như chúng ta đã biết, Platon rất có ý thức về sự lưỡng phân này, vì ông đã thừa nhận hai khuôn mặt của Thượng đế, một được gọi là "Thiện" vĩnh cửu và bất di bất dịch nằm trong thế giới của các Ý niệm, còn mặt kia có tên là "Tạo hóa", có nhiệm vụ nhào nặn vật chất của thế giới ngẫu nhiên và biến đổi sao cho chúng phù hợp với các kế hoạch của thế giới các Ý niệm. Song Platon đã không có ý định dung hòa hai mặt đó, ông bằng lòng với tuyên bố rằng chỉ có cái Thiện là đích thực, còn Tạo hóa chỉ là một sự thể hiện nhợt nhạt và hư ảo.

Học thuyết Cơ đốc giáo đã thử giải quyết vấn đề này bằng cách đưa ra ý tưởng về một sự sáng thế từ hư vô (*ex nihilo*) bằng một hành động tự do ý chí của một Chúa Trời ở ngoài thời gian và không gian. Bởi vì Chúa Trời đã có sự lựa chọn giữa sáng tạo và không sáng tạo ra Vũ trụ, nên Vũ trụ không phải một phát xuất có tính thần thánh, do vậy nó không phải là một "tất yếu" như Chúa Trời, mà mang tính ngẫu nhiên. Tuy nhiên, tính khả tri của Tự nhiên đòi hỏi một Chúa Trời duy lý để thực hiện một sự lựa chọn theo lý trí. Song những khó khăn về khái niệm vẫn tồn tại, mà nhiều thế hệ các triết gia và các nhà thần học không thể giải quyết được như: động cơ của sự lựa chọn của Chúa Trời là gì? Tại sao Chúa Trời lại lựa chọn vũ trụ này chứ không phải là vũ trụ khác? Phải chăng Chúa Trời đã chọn lựa theo bản chất của mình? Có thể nói gì về bản chất của Chúa Trời? Nó có phải là tất yếu? Nhưng nếu như Chúa Trời không có sự lựa chọn những cái có liên quan tới sự tồn tại và những phẩm chất của chính mình, thì liệu Người có sự lựa chọn cho Vũ trụ mà Người sáng tạo ra không? Có, chỉ nếu sự lựa chọn của Người không phải là duy lý, mà là hoàn toàn độc đoán. Song như vậy thì chính Vũ trụ cũng hoàn

toàn độc đoán. Chúng ta lại đứng trước một tình trạng tiến thoái lưỡng nan: hoặc Chúa Trời là Đấng Sáng thế và là nguyên nhân của thế giới ngẫu nhiên, nhưng nếu như vậy thì chính Chúa Trời cũng phải là ngẫu nhiên và nằm trong thời gian; hoặc Chúa Trời là tất yếu và như vậy sự Sáng thế của Người cũng là tất yếu và nằm ngoài thời gian. Một Chúa Trời tất yếu không thể sáng tạo ra một thế giới ngẫu nhiên được.

Chúng ta đã biết rằng tính chất thống kê của các sự kiện nội nguyên tử và sự không ổn định của các hệ thống hỗn độn, dưới tác dụng của những thay đổi nhỏ để cho Vũ trụ tự do sáng tạo, đã bảo đảm cho Tự nhiên một tương lai bất định. Khả năng để cho Vũ trụ có thể khám phá cái mới và tạo ra những cái chưa từng có, có thể dẫn tới một sự thỏa hiệp giữa cái ngẫu nhiên và cái tất yếu. Chúa Trời, Đấng sáng tạo ra các quy luật tất yếu và nằm ngoài thời gian, chịu trách nhiệm về trật tự thế giới không phải bằng hành động trực tiếp mà bằng cách ban cho Vũ trụ những tiềm năng, và Vũ trụ được tự do biến chúng thành hiện thực hay không. Có cái ngẫu nhiên trong cái tất yếu, có cái tự do trong cái tất định và cái không thể tiên đoán trong cái có thể tiên đoán. Bởi vì Vũ trụ được tự do lựa chọn trong một phạm vi rộng lớn những cái có thể, bởi vì cái ngẫu nhiên cũng nằm trong đó, nên Thượng đế không cần thiết phải tồn tại trong thời gian. Bản chất và mục đích của Người (được thể hiện qua các quy luật về tổ chức và về sự phức tạp ở ngoài thời gian) là bất di bất dịch và không thay đổi.

Một Vũ trụ có ý thức về chính mình

Vũ trụ học hiện đại đã phát hiện lại sự gắn bó từ xa xưa giữa con người và Vũ trụ. Con người là con đẻ của các vì sao, là anh em của

các động vật hoang dã, là họ hàng của các loài hoa đồng nội, tất cả chúng ta chỉ là những hạt bụi của các vì sao. Vật lý thiên văn cho chúng ta thấy rằng sự sống và ý thức xuất phát từ món súp nguyên thủy phụ thuộc vào sự điều chỉnh cực kỳ chính xác của các định luật tự nhiên và những điều kiện ban đầu của Vũ trụ. Nếu cường độ của các lực cơ bản chỉ thay đổi một chút ít thôi, chúng ta cũng chẳng tồn tại trên đời này để nói về nó. Các ngôi sao cũng sẽ không được tạo ra để vận hành cái lò luyện hạt nhân tuyệt vời của chúng. Và khi đó sẽ vĩnh biệt các nguyên tố nặng, những nguyên tố tạo nên cơ sở của sự sống!

Nhưng các định luật vật lý rất đặc biệt, xét theo một quan điểm tế nhị hơn. Chúng không chỉ cho phép con người nhập cuộc, mà còn ban cho con người khả năng hiểu được thế giới. Việc con người không tuân theo một cách mù quáng các quy luật tự nhiên là điều hết sức có ý nghĩa. Sự chọn lọc tự nhiên của Darwin chắc chắn đã tạo ra bộ óc của chúng ta để giúp chúng ta đối mặt với muôn vàn thách thức của sự sinh tồn, nhưng góp phần tăng thêm vào đó là sự hiểu biết các quy luật toán học chi phối Vũ trụ. Khả năng làm khoa học và giải các mật mã Vũ trụ của chúng ta đã gợi ra mối liên hệ giữa thế giới tinh thần của chúng ta và thế giới các hình thái của Platon. Vũ trụ đã sản sinh ra con người có khả năng hiểu được nó. Tôi nghĩ đó không phải là chuyện ngẫu nhiên. Chúng ta được ban cho khả năng hiểu biết bởi vì Vũ trụ không phải chỉ là một tập hợp đơn thuần các hạt vật chất trơ ỳ. Nó là sự thể hiện của một nguyên lý vô cùng tinh tế và tao nhã. Vũ trụ có một ý nghĩa, và chính con người, khi hiểu nó, đã trao cho nó cái ý nghĩa đó.

Phải chăng điều đó có nghĩa là con người đã lấy lại vị trí trung tâm của mình trong Vũ trụ? Hoàn toàn không phải vậy! Các quá trình vật lý và hóa học diễn ra trên Trái đất nhằm đưa tới sự sống

và ý thức, rất có thể chúng không chỉ riêng có đối với hành tinh của chúng ta. Một trí tuệ ngoài Trái đất có những kiến thức về khoa học và toán học, có lẽ, cũng sẽ làm hết mình để đem lại cho Vũ trụ một ý nghĩa...

Vũ trụ không còn xa lạ với chúng ta

Ngẫu nhiên hay tất yếu? Khoa học không thể giải đáp dứt khoát câu hỏi này. Cả hai sự lựa chọn đều khả dĩ, như tôi đã chứng minh trong cuốn *Giai điệu bí ẩn*: hoặc con người xuất hiện trong một vũ trụ không có ý nghĩa, hoàn toàn dửng dưng với nó; hoặc sự xuất hiện của con người đã được lập trình ngay từ đầu để con người đem lại cho Vũ trụ một ý nghĩa bằng cách hiểu được Vũ trụ ấy.

Trong giả thuyết về sự ngẫu nhiên, sự điều chỉnh cực kỳ chính xác của các định luật vật lý và những điều kiện ban đầu khiến cho ý thức xuất hiện đã được giải thích bằng sự tồn tại của muôn vàn vũ trụ song song. Các vũ trụ song song này chứa đựng tất cả những tổ hợp khả dĩ của các định luật vật lý và các điều kiện ban đầu. Hầu như tất cả các vũ trụ này đều cằn cỗi và không dung nạp sự sống cũng như ý thức. Chỉ trừ có vũ trụ của chúng ta, do ngẫu nhiên, đã có được một tổ hợp độc đắc, mà chúng ta chính là phần thưởng của giải độc đắc đó. Cơ học lượng tử, như chúng ta đã thấy, chấp nhận sự tồn tại của các vũ trụ song song ấy. Cứ mỗi lần có sự lựa chọn hoặc cần ra quyết định, vũ trụ lại được phân chia ra: trong vũ trụ này, electron sẽ đi về phía Đông, trong vũ trụ khác nó sẽ đi về phía Nam. Người quan sát cũng được phân thân, ngay cả nếu vẫn còn chưa biết rõ. Như nhà toán học Roger Penrose đã nhận xét, những sự phân thân như thế của thể xác và tinh thần chúng ta có thể xảy ra mà chúng ta không hề hay biết. Nhà vật lý

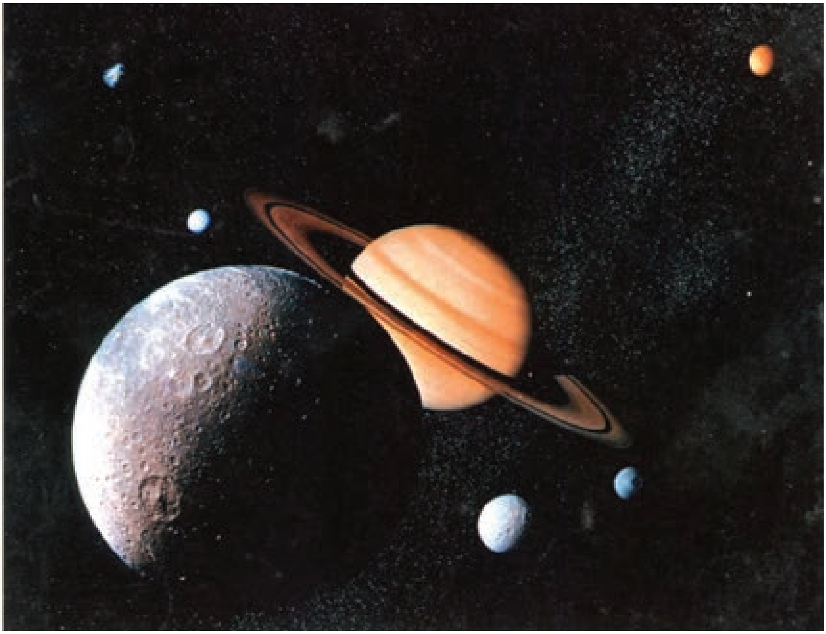
Nga Andrei Linde đã đưa ra một kịch bản khác của các vũ trụ song song. Ông đã trình bày một mô hình Big Bang, trong đó vũ trụ của chúng ta chỉ là một chiếc bong bóng nhỏ trong số vô vàn các bong bóng khác giữa lòng một siêu vũ trụ.

Riêng cá nhân tôi, tôi bác bỏ giả thuyết đa vũ trụ và cái ngẫu nhiên từ đó mà ra. Tôi không ưa giả thuyết đa vũ trụ này vì nó đi ngược lại nguyên lý tiết kiệm[1]: tại sao lại phải sáng tạo ra quá nhiều các vũ trụ cằn cỗi, trong khi chỉ một vũ trụ là có ý thức về bản thân mình? Mặt khác, thừa nhận có vô số vũ trụ song song, tất cả đều ở ngoài tầm với của các dụng cụ đo của chúng ta, nghĩa là sẽ không thể kiểm chứng được liệu nó có phù hợp với phương pháp khoa học. Khoa học phải dựa trên thực nghiệm và sự quan sát. Không có những nền tảng đó, khoa học sẽ sớm bị chôn vùi trong siêu hình.

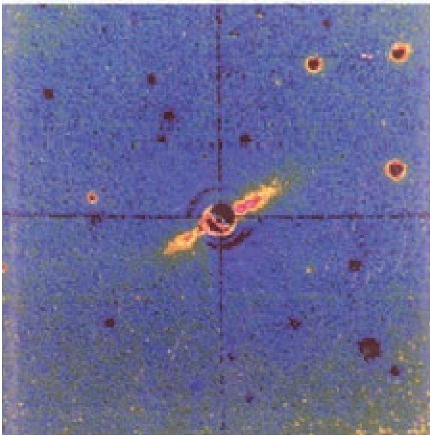
Tôi cũng bác bỏ giả thuyết về cái ngẫu nhiên, vì ngoài sự vô nghĩa và thất vọng mà nó mang đến, tôi không thể quan niệm được rằng sự hài hòa, đối xứng, sự thống nhất và vẻ đẹp mà chúng ta cảm nhận được trong thế giới, từ những đường nét tinh tế của một bông hoa cho đến kiến trúc đồ sộ của các thiên hà..., cả trong những quy luật của tự nhiên, nhưng theo cách tinh vi và trang nhã hơn nhiều - mà tôi đã cố gắng chứng tỏ trong suốt quyển sách này - tất cả lại chỉ là do tính ngẫu nhiên mà có. Nếu chúng ta chấp nhận giả thuyết chỉ có một Vũ trụ, Vũ trụ của chúng ta, thì chúng ta phải thừa nhận sự tồn tại của một Nguyên nhân Đầu tiên đã điều chỉnh tập hợp các định luật vật lý và những điều kiện ban đầu để cho Vũ trụ có được ý thức về bản thân nó.

1. Nguyên lý này còn được gọi là "lưỡi dao cạo của Occam", mang tên của nhà thần học và triết học Guillaume d'Occam (khoảng cuối thế kỷ XIII - 1349 hoặc 1350)

Tuy nhiên, khoa học không bao giờ có thể phân biệt được rạch ròi hai khả năng đó. Không bao giờ khoa học có thể đi đến cuối con đường. Kết quả thần kỳ của Gödel đã chứng minh cho chúng ta thấy những giới hạn của lý trí. Do vậy con người phải cầu viện đến các loại tri thức khác như trực giác huyền bí hoặc tôn giáo được thông tin và soi sáng bởi khoa học hiện đại. Dù sao đi nữa có một điều chắc chắn là: Vũ trụ đối với chúng ta không còn cách trở và xa lạ nữa, nó đã trở thành thân thiết và quen thuộc.



1. *Những thế giới đầy rẫy các hố hình miệng núi lửa*. Trên hình là sự dàn dựng các bức ảnh do con tàu Voyager 1 chụp vào tháng 11 năm 1980 cho thấy 6 trong số 18 mặt trăng đã biết của Thổ tinh. Ở phía trước là Encelade. Do không có khí quyển bảo vệ, bề mặt của vệ tinh này phủ đầy những hố hình miệng núi lửa, bằng chứng câm lặng về sự tàn khốc của những va chạm trong quá khứ với các tiểu hành tinh. Lùi về phía sau, từ trái sang phải là Rhea, Dione, Mimas (cũng đầy những hố hình miệng núi lửa) và Therys. Ở xa hơn là Titan, màu da cam, mặt trăng duy nhất trong Hệ Mặt trời có bầu khí quyển. (Ảnh NASA)



2. *Một hệ mặt trời đang hình thành*. Các nhà thiên văn cho rằng họ đã nhìn thấy một hệ mặt trời đang hình thành xung quanh ngôi sao Bêta Pictoris, được chụp ở đây bằng ánh sáng hồng ngoại. Ngôi sao này (hình vòng tròn ở giữa bức ảnh) được bao quanh bởi một đĩa khí và bụi phát ánh sáng hồng ngoại, tương tự như đĩa đã cho ra đời Hệ Mặt trời của chúng ta. Đĩa này được nhìn theo lát cắt ngang nên có dạng thẳng. Đĩa này còn rất trẻ, nó mới được tạo thành cách đây vài trăm triệu năm. Trong số các hành tinh quay quanh sao Bêta Pictoris, liệu có hành tinh nào dung nạp sự sống? (Ảnh NASA)



3. *Trái đất và Mặt trăng*. Hành tinh chúng ta là hành tinh duy nhất trong số các hành tinh kiểu Trái đất có một mặt trăng lớn, với kích thước bằng ¼ kích thước Trái đất. Bức ảnh này cho thấy bốn hành tinh đất (Thủy tinh, Kim tinh, Trái đất, Hỏa tinh) cùng với 6 mặt trăng lớn nhất của Hệ Mặt trời theo đúng tỷ lệ (từ trái sang phải và từ trên xuống dưới: Mặt trăng của chúng ta, tiếp đến 4 vệ tinh của Mộc tinh: Io, Europe, Ganymede và Callisto, và cuối cùng là Titan, mặt trăng lớn nhất của Thổ tinh). Trong số các hành tinh đất khác, Thủy tinh và Kim tinh không có vệ tinh, trong khi đó Hỏa tinh có 2 mặt trăng nhỏ là Phobos và Denios, có kích thước lần lượt là 28 và 16km, tức là cỡ một tiểu hành tinh. (Xem hình 18). Mặt trăng của chúng ta lớn gần như bằng những mặt trăng lớn nhất của hai hành tinh khổng lồ là Mộc tinh và Thổ tinh. Người ta cho rằng nó lớn như vậy là bởi vì một thiên thạch lớn tới đập vào Trái đất và làm văng ra từ đó một miếng lớn của vỏ Trái đất, sau đó ngưng tụ thành Mặt trăng ngày nay. (Ảnh NASA)



4. *Trái đất nhìn từ Mặt trăng*. Trái đất chúng ta có màu trắng xanh, nhìn hấp dẫn hơn bề mặt cằn cỗi và hoang vắng của Mặt trăng. Vì Mặt trăng quay quanh mình nó và quay quanh Trái đất mất cùng một khoảng thời gian (đó là do lực hấp dẫn giữa Trái đất và Mặt trăng quy định), nên Mặt trăng luôn quay cùng một mặt về phía Trái đất. Từ Trái đất, con người chỉ thấy được khoảng 59% diện tích Mặt trăng.

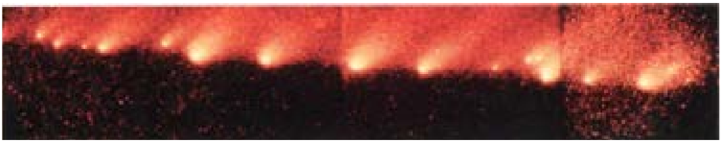




5. *Sao chổi, tiểu hành tinh và thiên thạch: những kẻ lang thang giữa các hành tinh.* Các hành tinh không phải là những "cư dân" duy nhất trong Hệ Mặt trời. Người ta còn thường gặp ở đây các tiểu hành tinh, các thiên thạch và các sao chổi. Các sao chổi thi thoảng tới thăm Hệ Mặt trời chúng ta mang theo những thông tin quý giá về thời kỳ hình thành Hệ Mặt trời.

a) Những quả cầu tuyết lớn với nhân bằng đá được gọi là các sao chổi thi thoảng phiêu lưu tới thăm Hệ Mặt trời chúng ta. Khi tới gần Mặt trời chúng bốc hơi. Sự tương tác của các chất bị đóng băng bốc hơi với bức xạ và với gió các hạt của Mặt trời tạo nên đầu và đuôi sao chổi nhìn rất đẹp. Bức ảnh này chụp sao chổi Halley (sao chổi cứ 76 năm lại tới thăm loài người một lần), khi nó đi gần Mặt trời, vào năm 1986.

b) Mỗi ngày Trái đất nhận được khoảng 300 tấn đá và bụi tới từ ngoài Vũ trụ. Khi các thiên thạch xuyên qua bầu khí quyển Trái đất, lực ma sát với không khí làm cho chúng bốc cháy và vạch ra những đường sáng trong những đêm sao, tạo nên cảnh tượng sao băng tuyệt vời. Các thiên thạch này không bị phân hủy hoàn toàn và tới mặt đất dưới dạng những viên đá bị đốt cháy đen. (Xem hình 15)



6. *Các mảnh của sao chổi Shoemaker-Levy 9*. Một sao chổi mất đi vật chất mỗi khi đi quanh Mặt trời do sự bốc hơi của băng phủ quanh nhân của nó. Sau một trăm lần đi qua như thế, lượng vật chất của nó bị mất lớn tới mức nhân của nó thực tế không còn chống lại nổi lực hấp dẫn của Mặt trời và các hành tinh của nó nữa và sẽ bị xé thành nhiều mảnh. Điều này đã xảy ra với sao chổi Shoemaker-Levy 9, nó đã bị phân hủy thành 21 mảnh vào năm 1992, khi đi qua gần Mộc tinh. Bức ảnh này do kính thiên văn không gian Hubble chụp vào năm 1994, cho thấy 21 mảnh chuyển động theo hàng dọc nối đuôi nhau đi theo quỹ đạo cũ của sao chổi và kéo dài trên khoảng cách 1,1 triệu km. (Ảnh NASA)

7. *Sự phóng các mảnh sao chổi Shoemaker-Levy 9 vào bầu khí quyển của Mộc tinh*. Vào tháng 7 năm 1994, toàn thế giới đã nhìn thấy trực tiếp trên truyền hình hoặc trên mạng Internet sự va chạm của các mảnh sao chổi với Mộc tinh, giải phóng một lượng năng lượng tương đương với hàng triệu mêga tấn. Mỗi một mảnh này đi vào khí quyển Mộc tinh với vận tốc 60km/s và bị phân hủy trong vụ nổ rất mạnh đẩy những đám mây bụi lớn ra cả ngoài khí quyển Mộc tinh. Bức ảnh này do kính thiên văn không gian Hubble chụp, nó cho thấy ba chấm đen trong khí quyền Mộc tinh, chỉ nơi xảy ra va chạm của ba mảnh khác nhau. Màu đen có lẽ là do các phân tử hữu cơ trong các mảnh của sao chổi hoặc do các sóng xung kích gây bởi va chạm. (Ảnh NASA)

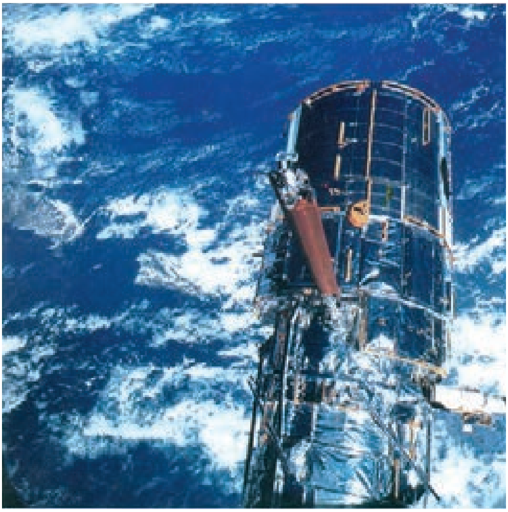




8. Bức ảnh này được chụp bởi kính thiên văn không gian Hubble cho thấy chi tiết hơn nơi xảy ra va chạm của một mảnh thuộc sao chổi Shoemaker-Levy 9 trong khí quyển Mộc tinh. Sự va chạm đã xảy ra 105 phút trước đó. Ta thấy một vành đen có kích thước cỡ như Trái đất. Chấm đen ở giữa là do một va chạm đã xảy ra trước của một mảnh khác. Những dấu đen này còn được nhìn thấy trong nhiều tháng sau va chạm. (Ảnh NASA)



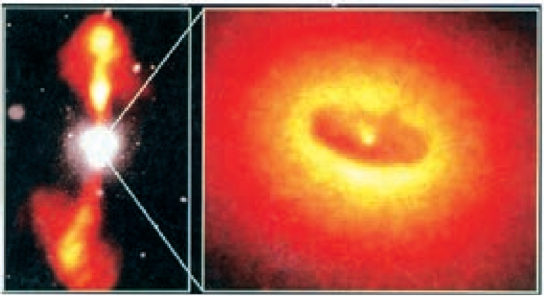
9. *Sự hỗn độn của các quỹ đạo sao*. Đĩa dải Ngân hà của chúng ta nếu được nhìn trực diện sẽ có vẻ ngoài rất giống với thiên hà Messier 51 trong bức ảnh trên. Đây là một thiên hà xoắn (sở dĩ được gọi như vậy là vì các ngôi sao trẻ được sắp xếp theo hình xoắn ốc) ở cách Trái đất 15 triệu năm ánh sáng. Khối sáng mờ ở cuối một tay xoắn là một thiên hà lùn (NGC 5195, vệ tinh của Messier 51). Những ngôi sao trong đĩa Ngân hà (mà Mặt trời chúng ta là một) quay không mệt mỏi xung quanh một khối lượng ở trung tâm. Chẳng hạn, Mặt trời quay một vòng trong đĩa Ngân hà mất 250 triệu năm. Quỹ đạo của nó là ổn định, nhưng quỹ đạo của những ngôi sao có năng lượng chuyển động lớn hơn có thể sẽ trở nên hỗn độn. (Ảnh của Đài thiên văn Anh - Úc)



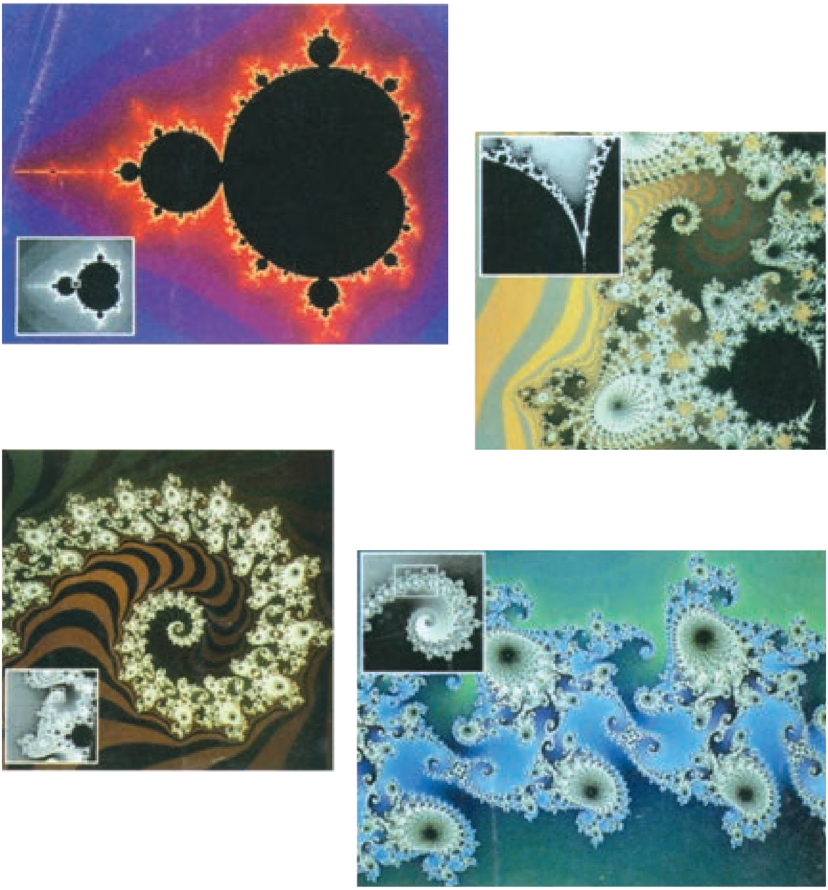
10. *Những đám mây có cấu trúc fractal*. Bên dưới kính thiên văn không gian Hubble quay cách mặt đất vài trăm kilômét, những đám mây nổi trôi với những đường viền không đều đặn có thể được mô tả bởi hình học fractal. (Ảnh NASA)



11. *Vết đỏ lớn của Mộc tinh.* Trên bức ảnh do con tàu Voyager 1 chụp tháng Giêng năm 1979 này là Vết đỏ lớn trong khí quyển của Mộc tinh, nó dài tới 20.000km và rộng 10.000km. Kích thước này có thay đổi chút ít trong suốt ba thế kỷ gần đây mà vết đó được quan sát. Vào thời kỳ cực đại, những kích thước đó tương ứng là 40.000km và 14.000km, nghĩa là lớn tới mức có thể nuốt chửng ba Trái đất. Vết đỏ này quay quanh mình nó ngược chiều kim đồng hồ và 6 ngày hết một vòng. Vết đỏ này đại diện cho một nơi ở Bán cầu Nam của Mộc tinh, tại đó chuyển động của khí trong khí quyển Mộc tinh tương đối có trật tự so với chuyển động hỗn loạn và chảy rối của khí ở xung quanh. Gió thổi từng cơn từ Đông sang Tây ở phía Bắc Vết đỏ và từ Tây sang Đông ở phía Nam của nó là nguyên nhân gây ra những dải màu song song ở xích đạo. Vết đỏ là một hệ tự tổ chức được sinh ra và điều chỉnh bởi hỗn độn, chính hỗn độn này lại là nguồn gốc của chuyển động hỗn loạn và chảy rối ở xung quanh. Ta cũng có thể nhìn thấy trên ảnh hai mặt trăng của Mộc tinh, đó là vệ tinh Io (chồng lên Vết đỏ lớn) và Europe ở bên phải. (Ảnh NASA)



12. *Một lỗ đen ở tâm một thiên hà elip.* a) Bức ảnh bên trái chụp thiên hà elip NGC 4261 nằm trong đám thiên hà Vierge, cách Trái đất chúng ta 45 triệu năm ánh sáng. Thiên hà này phóng vật chất từ tâm của nó ra ngoài theo hai hướng ngược nhau. Những luồng phun này được phát hiện không phải nhờ ánh sáng thấy được mà nhờ sóng vô tuyến. Sự phóng ra vật chất này gợi ý có thể có những hiện tượng xảy ra mãnh liệt và có năng lượng cao ở tâm thiên hà. b) Bức ảnh bên phải chụp phần trung tâm của thiên hà trên được nhìn qua kính thiên văn không gian Hubble. Với khả năng nhìn được những chi tiết rất tinh vi, kính thiên văn Hubble đã phát hiện ra một vành bụi và khí, có đường kính khoảng 400 năm ánh sáng, bao quanh một đối tượng cực kỳ đặc và nhỏ gọn. Đối tượng này có lẽ là một lỗ đen siêu nặng, có khối lượng gấp cả tỷ lần khối lượng Mặt trời, đang xé xác những ngôi sao của thiên hà elip. Vành được tạo bởi những mảnh vụn của các ngôi sao bị lực thủy triều của lỗ đen xé tan. Còn những luồng sóng vô tuyến xuất hiện vuông góc với mặt phẳng của vành lấy năng lượng từ sự phàm ăn của lỗ đen. (Ảnh NASA)



13. *Tập hợp Mandelbrot*. Những hình ảnh với vẻ đẹp kỳ lạ và phức tạp có dạng đuôi con cá ngựa, hình xoắn ốc và đĩa tua tủa gai này biểu diễn hình phóng đại lớn dần của một đối tượng toán học có tên là "tập hợp Mandelbrot". Vùng phóng đại được chỉ bằng ô vuông nhỏ trên hình. Tập hợp Mandelbrot là một cấu trúc fractal, mà những mô-típ của nó được lặp lại vô hạn ở mọi thang phóng đại (giữa hình a và d sự khác nhau về thang phóng đại là cỡ 1 triệu lần), nhưng điều nghịch lý là nó lại có số chiều nguyên và bằng 2. Một hình vẽ trên mặt phẳng có số chiều fractal nằm giữa 1 và 2, tùy thuộc vào độ phức tạp của nó. Vì nó có số chiều tối đa là 2, nên tập hợp Mandelbrot thường được gọi là "đối tượng phức tạp nhất của hình học fractal". Mặc dù phức tạp về hình dạng, nhưng sự mô tả đầy đủ của nó về mặt toán học lại tương đối đơn giản. Để sinh ra tập hợp này, chỉ cần chọn một số phức C không đổi (một số phức có hai phần, một phần thực là một số thực và một phần "ảo" có đơn vị là i được định nghĩa là căn bậc hai của -1; như vậy một số phức có thể được viết như $2 + 3i$ chẳng hạn) và thêm vào đó bình phương một số phức z khác biến thiên từ 0 đến vô cùng. Như vậy, công thức mô tả tập hợp Mandelbrot được viết như sau: z (cuối cùng) = z (ban đầu) + C. Tập hợp Mandelbrot nhận được bằng cách tính lặp theo công thức trên nhiều lần với số phức C cho trước. (Ảnh lấy từ quyển sách *Chaos của James Gleick*, NXB Viking, 1987).



14. *Vịnh Hạ Long*. Vịnh ở vùng bờ biển Việt Nam, ở phía Đông-Bắc cảng Hải Phòng, nổi tiếng với những dãy núi đá vôi nổi trên biển (Ảnh của Anne Claire Tran Thanh Binh Minh)

THUẬT NGỮ

ADN (*DNA*): Phân tử có dạng chuỗi xoắn kép, là thành phần cơ bản của nhân tế bào sống và mang mã di truyền.

Axit amin (*Amino acid*): Các phân tử tạo nên protein, cơ sở của sự sống.

Bài toán 3 vật (*Three-body problem*): Bài toán về quỹ đạo của ba vật nặng tương tác hấp dẫn với nhau. Chính nhờ quá trình tìm cách giải bài toán này mà Henry Poincaré đã phát hiện ra những quỹ đạo hỗn độn.

Bán kính không thể quay lui *(Radius of non-return)*: Bán kính xác định chân trời của một lỗ đen. Một khi đã vượt qua bán kính này, cả hạt vật chất cũng như ánh sáng đều không thể quay lại và thoát ra ngoài lỗ đen được.

Bảng tuần hoàn (*periodic table*): Bảng liệt kê các nguyên tố hóa học theo thứ tự tăng dần của nguyên tử số và được nhóm lại thành các cột theo các tính chất phản ứng, do nhà hóa học người Nga Dmitri Mendeleev lập ra.

Bát đạo (*Octet Way*): Phương pháp toán học trong lý thuyết các quark nhờ đó các meson và baryon được sắp xếp thành các nhóm 8 (hoặc 10).

Baryon *(Baryon)*: Tên chung để gọi các hạt sơ cấp được tạo bởi ba quark, có spin bán nguyên (½, ³⁄₂...) và chịu tác dụng của lực hạt nhân mạnh.

Big Bang *(Big Bang)*: Lý thuyết vũ trụ học theo đó vũ trụ nguyên thủy cực kỳ nóng và đặc đã bắt đầu sự tồn tại của mình bằng một vụ nổ lớn xảy ra khoảng 15 tỷ năm trước tại chỉ một điểm không gian. Nó cũng được gọi là Vụ nổ lớn.

Big Crunch *(Big Crunch):* Giai đoạn tự co lại cuối cùng của vũ trụ dưới tác dụng của lực hấp dẫn của chính nó. Người ta vẫn chưa biết vũ trụ có chứa đủ vật chất để lực hấp dẫn của nó có thể đảo ngược được quá trình đang giãn nở hiện nay hay không. Nó cũng được gọi là Vụ co lớn.

Boson *(Boson)*: Tên gọi chung các hạt có spin bằng một số nguyên (1, 2...). Tính chất của boson khác với các fermion là những hạt có spin bán nguyên (½, ³⁄₂...). Photon, gluon, các hạt W và Z là các boson truyền tương tác giữa các quark và các lepton.

Bọt lượng tử (*Quantum foam*): Cấu trúc của không gian có kích thước so được với chiều dài Planck (10^{-33}cm) và chỉ có thể được mô tả thông qua các xác suất.

Bức xạ hóa thạch *(Cosmic background radiation)*: Còn được gọi là bức xạ nền. Đây là bức xạ vô tuyến đẳng hướng (như nhau theo mọi hướng) và đồng tính (như nhau ở mọi điểm) tràn ngập toàn bộ Vũ trụ và có từ thời Vũ trụ mới được 300.000 năm tuổi. Nhiệt độ của nó là 2,70K (hay -270,3^{o}C).

Bước sóng *(Wavelength)*: Khoảng cách giữa hai đỉnh sóng (hoặc hõm sóng) liên tiếp của một sóng ánh sáng (hoặc sóng vật chất, như sóng biển chẳng hạn).

Ceres (*Ceres*): Tiểu hành tinh lớn nhất đã biết và cũng là tiểu hành tinh đầu tiên được phát hiện.

Chảy rối (*Turbulence*): Chuyển động hỗn loạn của một yếu tố chất lỏng hoặc chất khí.

Chân không lượng tử *(Quantum vacuum)*: Không gian choán đầy bởi các hạt ảo và phản-hạt ảo xuất hiện rồi lại biến mất theo các vòng sống chết luân hồi trong khoảng thời gian rất ngắn nhờ sự nhòe lượng tử.

Chiều dài Planck (*Planck length*): Bằng 1,62. 10^{-33}cm, là chiều dài mà ở đó không gian trở thành bọt lượng tử.

Chuỗi hội tụ (*Convergent series*): Chuỗi số có tổng là một số hữu hạn.

Chòm sao (*Constellation*): Các nhà thiên văn chia bầu trời thành 88 vùng (cung): Mỗi vùng thường được đặt tên theo cấu hình của ngôi sao sáng nhất nằm trong vùng đó và tượng trưng cho một vật, một con vật, một người hoặc một anh hùng trong thần thoại Hy Lạp.

Cơ học lượng tử *(Quantum mechanics)*: Lý thuyết vật lý mô tả cấu trúc và hành trạng của các nguyên tử và tương tác của chúng với ánh sáng. Trong lý thuyết này xác suất đóng vai trò rất căn bản; năng lượng, spin và các đại lượng khác đều bị lượng tử hóa, tức là chúng chỉ có thể thay đổi một cách gián đoạn và là bội số của một giá trị nguyên tố. Một số hiện tượng mà cơ học lượng tử tiên đoán là: sự nhòe lượng tử, lưỡng tính sóng hạt, thăng giáng lượng tử và các hạt ảo.

Cơ học thiên thể (*Celestial mechanics*): Một ngành của thiên văn học nghiên cứu chuyển động và tương tác hấp dẫn của các thiên thể trong Hệ Mặt trời.

Cộng hưởng (*Resonance*): Hiện tượng xảy ra khi một thiên thể chịu tác động của những nhiễu loạn hấp dẫn tuần hoàn gây bởi một thiên thể khác. Ví dụ một sự cộng hưởng được xác lập giữa hai thiên thể quay quanh một thiên thể thứ ba với các chu kỳ quay là bội số hoặc ước số của nhau.

Cứu cánh luận (*Teleonomy*): Quan niệm cho rằng các cơ thể sống

phải có cấu trúc hoặc chức năng mang lại cho nó những ưu thế trong quá trình tiến hóa.

Đám thiên hà *(Cluster of galaxies)*: Tập hợp dày đặc vài nghìn thiên hà liên kết với nhau bởi lực hấp dẫn.

Đĩa kết tụ (A*ccretion disk*): Đĩa khí xung quanh một thiên thể có khối lượng lớn (như một lỗ đen chẳng hạn) mà vật chất của nó rơi vào thiên thể ở trung tâm theo đường xoắn ốc.

Đĩa thiên hà *(Galatic disk):* Mặt phẳng xuyên tâm nơi tập trung phần vật chất thấy được lớn nhất của một thiên hà. Các ngôi sao và khí giữa các sao quay quanh tâm thiên hà trong mặt phẳng này.

Điểm kỳ dị (*Singularity*): Điểm toán học không có thể tích và có mật độ lớn vô hạn. Vật lý học không có chỗ đứng tại điểm đó. Theo thuyết tương đối rộng thì Vũ trụ đã xuất phát từ một điểm kỳ dị và tất cả các vật co lại thành lỗ đen cũng sẽ dẫn tới một điểm như thế.

Điều kiện ban đầu (*Initial conditions*): Trạng thái của hệ động lực ở thời điểm bắt đầu sự tiến hóa của nó.

Định luật Titius-Bode (*Titius-Bode law*): Dãy số cho giá trị gần đúng khoảng cách từ các hành tinh và vành đai các tiểu hành tinh tới Mặt trời. Nó không cho đáp số đúng đối với Hải Vương tinh và Diêm Vương tinh.

Định luật hai nhiệt động lực học (*Second thermodynamic law*): Định luật nói rằng entropy của một hệ cô lập phải luôn luôn tăng hoặc chí ít cũng không được giảm.

Định lý bất toàn hay định lý về tính không đầy đủ (*Theorem of incompleteness*): Định lý của nhà toán học người áo Kurt Gödel, theo nó toàn bộ hệ thống số học chứa những mệnh đề không thể quyết định được, tức là không thể chứng minh cũng không thể bác bỏ dựa trên các tiên đề chứa trong hệ thống đó.

Độ Kelvin *(Kelvin)*: Đơn vị đo nhiệt độ. Trong thang nhiệt độ Kelvin (K), điểm không là không độ tuyệt đối, nhiệt độ thấp nhất khả dĩ. Để đổi sang thang nhiệt độ bách phân (C), chỉ cần trừ đi 273: T (C) = T (K) - 273. Như vậy, không độ tuyệt đối ứng với - 273^{o}C. Nước biến thành đá ở 0^{o}C hay 273^{0}K. Nước sôi ở 100^{o}C hay 373^{0}K.

Đồng vị (*Isotope*): Dạng khác nhau của cùng một nguyên tố hóa học, mà nguyên tử của chúng có cùng số proton nhưng có số nơtron khác nhau.

Electron *(Electron)*: Hạt nhẹ nhất trong số các hạt sơ cấp có điện tích. Electron có khối lượng 9.10^{-28} g và mang điện tích âm, là thành phần của nguyên tử cùng với proton và nơtron. Cùng với nơtrino, electron thuộc họ các lepton.

Entropy *(Entropy)*: Đại lượng đo mức độ hỗn loạn của một hệ gồm một số lớn các nguyên tử và phân tử.

Ête (*Ether*): Chất lỏng giả thuyết, không trọng lượng và đàn hồi, vào thế kỷ XIX được coi là tác nhân truyền ánh sáng và sóng điện từ. Thí nghiệm của Michelson và Morley chứng minh tính bất biến của vận tốc ánh sáng và từ đó khái niệm ête bị vứt bỏ.

Fermion (*Fermion*): Tên chung để gọi các hạt có spin bán nguyên (½, ³⁄₂...), trái với boson là những hạt có spin nguyên. Các hạt quark và lepton đều là fermion.

Fractal (vật) (*Fractal objet*): Vật có số chiều không phải là số nguyên. Cũng là vật có số chiều nguyên, nhưng có cấu trúc mà cùng một mô-tip của nó được lặp đi lặp lại tới vô hạn ở mọi thang.

Gluon (*Gluon*): Hạt có spin 1 được trao đổi giữa các quark và cũng là hạt truyền lực hạt nhân mạnh. Bán kính tác dụng cỡ 10^{-15}m, cỡ kích thước của hạt nhân nguyên tử.

Graviton (*Graviton*): Hạt giả thuyết có spin bằng 2, là hạt truyền lực hấp dẫn.

Gravitino (*Gravitino*): Hạt giả thuyết có spin bằng 3/2 được tiên đoán bởi lý thuyết siêu hấp dẫn.

Hadron *(Hadron):* Tên chung để gọi các hạt sơ cấp chịu tác dụng của lực hạt nhân mạnh. Các baryon và meson đều là hadron.

Hành tinh *(Planet):* Thiên thể hình cầu có đường kính lớn hơn 1000km, không có nguồn năng lượng hạt nhân riêng, quay quanh một ngôi sao và phản xạ ánh sáng của nó.

Hành tinh kiểu Mộc tinh *(Jovian planet):* Một trong bốn hành tinh khổng lồ, cấu tạo bằng khí thuộc Hệ Mặt trời: Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên Vương tinh và Hải Vương tinh.

Hành tinh kiểu Trái đất hay Hành tinh rắn *(Terestrial planet* hay *Solid planet):* Một trong bốn hành tinh nhỏ có vỏ rắn, thuộc Hệ Mặt trời: Thủy tinh, Kim tinh, Trái đất và Hỏa tinh.

Hạt ảo (*Virtual particle*): Hạt sơ cấp được tạo thành cặp cùng với phản hạt của nó (vì điện tích toàn phần phải được bảo toàn, nên trước bằng 0 thì sau khi tạo thành cũng phải như thế) nhờ vay năng lượng ở một vùng kề cận của không gian. Sự vay năng lượng này được quy định bởi nguyên lý bất định. Nguyên lý này đòi hỏi sự vay năng lượng phải được trả lại rất nhanh khiến cho các hạt ảo chỉ tồn tại trong một khoảng thời gian rất ngắn và do đó các máy dò của ta không thể phát hiện được. Những hạt ảo có thể trở thành các hạt "thực" khi có sự phun năng lượng, chẳng hạn như trong những khoảnh khắc đầu tiên của Vũ trụ.

Hạt nhân nguyên tử *(Nucleus):* Phần nặng nhất của nguyên tử, được cấu tạo bởi các proton và nơtron liên kết với nhau bằng lực hạt nhân mạnh. Hạt nhân nhỏ hơn nguyên tử tới 100 ngàn lần (kích thước của nó cỡ 10^{-13}cm) và chỉ chiếm một phần triệu tỷ của tổng thể tích nguyên tử, vì thế vật chất hầu như hoàn toàn là chân không.

Hấp dẫn (*Gravity*): Lực hút tương hỗ giữa các vật thể hoặc các hạt vật chất.

Hấp dẫn lượng tử (*Quantum Gravity*): Lý thuyết (hiện còn đang được xây dựng) nhằm thống nhất hai trụ cột của vật lý hiện đại: cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng. Một lý thuyết như thế cho phép ta vượt qua bức tường Planck - một rào chắn thực sự đối với sự hiểu biết của chúng ta. Lý thuyết này cho phép mô tả những hiện tượng vật lý với kích thước cỡ chiều dài Planck (10^{-33}cm) và thời gian Planck (10^{-43}s).

Hệ phi tuyến (*Non-linear system*): Hệ mà trong đó những thay đổi của trạng thái ban đầu không kéo theo những thay đổi tỷ lệ với nó ở trạng thái cuối cùng.

Hệ tất định (*Determinist system*): Hệ động lực mà sự tiến hóa của nó hoàn toàn được xác định bởi các định luật vật lý.

Hệ tuyến tính (*Linear system*): Hệ mà trong đó những thay đổi của trạng thái ban đầu kéo theo những thay đổi tỷ lệ với nó ở trạng thái cuối cùng.

Hiệu ứng con bướm (*Butterfly effect*): Hiện tượng trong đó sự thay đổi rất nhỏ của trạng thái ban đầu của một hệ có thể làm thay đổi hoàn toàn sự tiến hóa sau đó của nó.

Hỗn độn (*Chaos*): Tính chất đặc trưng cho một hệ động lực mà hành vi của nó trong không gian pha phụ thuộc một cách cực kỳ nhạy cảm vào các điều kiện ban đầu.

Không độ tuyệt đối (*Absolute zero):* Điểm không của thang nhiệt độ Kelvin, bằng -273°C và tương ứng với trạng thái hoàn toàn không có chuyển động của các hạt. Đây là nhiệt độ thấp nhất khả dĩ.

Không gian pha (*Phase space*): Không gian trừu tượng có số chiều bằng số các tham số cần thiết để đặc trưng cho trạng thái của hệ

động lực (vị trí và vận tốc của các vật trong hệ). Một điểm trong không gian pha biểu diễn trạng thái của hệ ở một thời điểm đã cho. Khi hệ tiến hóa, điểm này sẽ vẽ lên trong không gian pha một quỹ đạo khá phức tạp.

Không-thời gian (*Space-time*): Cấu trúc 4 chiều là kết quả của sự thống nhất giữa không gian và thời gian.

Lạm phát (thời kỳ) *(Inflation):* Khoảng thời gian rất ngắn (giữa 10^{-35} và 10^{-32} giây) sau Big Bang, trong đó vũ trụ giãn nở theo hàm mũ, kích thước tăng gấp ba lần sau mỗi 10^{-34} giây.

Lepton *(Lepton):* Tên gọi chung các hạt sơ cấp có spin bằng ½, không chịu tác dụng của lực hạt nhân mạnh. Electron và nơtrinô thuộc họ lepton.

Lỗ đen *(Black hole):* Kết quả của sự co lại của vật chất (ví dụ của một ngôi sao có khối lượng gấp 5 lần Mặt trời), tạo ra một trường hấp dẫn cực mạnh và không gian bị cong tới mức cả vật chất cũng như ánh sáng đều không thoát được ra ngoài.

Lỗ giun đào (*Wormhole*): Đường hầm giả thuyết tạo thành từ tôpô của không gian, nằm trong siêu không gian và nối các nơi khác nhau thuộc cùng một vũ trụ hoặc của hai vũ trụ khác nhau.

Lực điện hạt nhân *(Electronuclear force):* Lực tạo thành do sự thống nhất của lực điện từ với hai lực hạt nhân mạnh và yếu.

Lực điện từ *(Electromagnetic force):* Lực chỉ tác dụng giữa các hạt tích điện và được truyền bởi các photon. Nó làm cho các hạt tích điện trái dấu hút nhau và cùng dấu đẩy nhau. Chính lực này đã liên kết các nguyên tử và phân tử.

Lực điện yếu *(Electroweak force):* Lực tạo thành do sự thống nhất của lực điện từ và lực hạt nhân yếu.

Lực hạt nhân mạnh *(Strong nuclear force):* Lực mạnh nhất trong số

bốn lực của tự nhiên, nó liên kết các quark để tạo thành proton và nơtron, liên kết các proton và nơtron để tạo thành hạt nhân nguyên tử. Phạm vi tác dụng của lực hạt nhân mạnh là cỡ kích thước của hạt nhân nguyên tử (10^{-13} cm). Lực này không tác dụng lên photon và electron.

Lực hạt nhân yếu *(Weak nuclear force):* Lực gây ra sự phân rã của các nguyên tử và hiện tượng phóng xạ, có tầm tác dụng ngắn (nhỏ hơn 10^{-15} cm). Chính lực này đã làm cho nơtron tự do phân rã thành proton sau khoảng 15 phút.

Lực hấp dẫn *(Gravitational force):* Lực hút tác dụng giữa các vật, tỷ lệ thuận với tích hai khối lượng và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.

Lực thủy triều (*Tide force*): Hiệu của lực hấp dẫn do một vật tác dụng lên hai bộ phận khác nhau của một vật khác. Lực thủy triều do Mặt trăng tác dụng lên Trái đất là hiệu giữa lực hấp dẫn tác dụng lên phần rắn và phần nước ở các đại dương của Trái đất.

Lưỡi dao cạo Occam (*Occam's razor*): Quan niệm cho rằng cách giải thích đơn giản có nhiều khả năng đúng hơn là cách giải thích phức tạp. Thuật ngữ "dao cạo" ở đây ý muốn nói tới "sự cạo đi", tức là loại bỏ đi tất cả những giả thuyết thừa. Nguyên lý Occam rất hấp dẫn bởi vì nó viện đến ý nghĩa của vẻ đẹp và sự thanh nhã của khoa học.

Lý thuyết của vạn vật (*Theory of Everything*): Lý thuyết vật lý có tham vọng mô tả 4 lực cơ bản của Tự nhiên (lực điện từ, lực hạt nhân mạnh và yếu, lực hấp dẫn) như những thể hiện khác nhau của cùng một lực duy nhất.

Lý thuyết Kaluza-Klein (*Theory of Kaluza-Klein*): Lý thuyết đưa vào thêm các chiều mới của không gian. Những chiều này bị cuộn nhỏ lại tới mức ta không quan sát được.

Lý thuyết siêu dây (*Superstring theory*): Lý thuyết cho rằng các hạt sơ cấp của vật chất không phải là những điểm như ta từng quan niệm nữa mà là những dao động của các dây vô cùng nhỏ (10^{-33} cm).

Lý thuyết thống nhất lớn *(Grand unified theory - GUT):* Những lý thuyết có ý định thống nhất lực điện từ, lực hạt nhân yếu và lực hạt nhân mạnh thành một lực duy nhất gọi là lực điện-hạt nhân.

Lưỡng tính sóng hạt (*Wave-corpuscle duality*): Tính chất mà ánh sáng hoặc vật chất đôi khi xử sự như các sóng, đôi khi lại xử sự như các hạt.

Máy gia tốc *(Accelerator):* Dụng cụ dùng điện trường và từ trường để gia tốc các hạt tích điện (như electron, proton và các phản hạt của chúng) và truyền cho chúng những năng lượng lớn. Các máy gia tốc tuyến tính có chiều dài rất lớn để đạt được năng lượng cao, nên đa số các máy gia tốc đều là tròn và dùng nam châm để uốn cong quỹ đạo của các hạt, cứ quay được một vòng thì các hạt này lại nhận được thêm năng lượng.

Mặt phẳng Hoàng đạo (*Zodiacal plane* hay *Ecliptic plane*): Là mặt phẳng quỹ đạo của Trái đất quay quanh Mặt trời. Mặt phẳng quỹ đạo của Mặt trăng quay quanh Trái đất chỉ hơi nghiêng một chút (khoảng 5 độ) so với mặt phẳng Hoàng đạo.

Mặt phẳng Poincaré (*Poincaré plane*): Mặt phẳng thẳng đứng trong không gian pha cắt ngang quỹ đạo của điểm biểu diễn trạng thái của một hệ động lực. Hình được vẽ nên bởi các giao điểm của quỹ đạo với mặt phẳng Poincaré cho phép ta nghiên cứu sự tiến hóa của hệ và xem nó có phải là hỗn độn hay không.

Meson (*meson*): Tên chung để gọi các hạt có spin nguyên (1, 2...), chịu tác dụng của lực hạt nhân mạnh, được tạo bởi một quark và một phản quark.

Mô hình chuẩn (*Standard Model*): Lý thuyết mô tả quark, các lepton và tương tác của chúng, được đông đảo các nhà vật lý chấp nhận.

Mục đích luận (*Teleology*): Học thuyết triết học, theo đó mọi sự vật đều hướng tới một mục đích cuối cùng.

Muon (*Muon*): Hạt dưới nguyên tử tích điện dương hoặc âm, có spin ½, có hành trạng giống như electron, nhưng nặng hơn cỡ 200 lần. Cả hai hạt này đều thuộc họ lepton. Muon có thời gian sống khoảng một phần triệu giây. Nó phân rã thành electron và nơtrino. Các muon được sinh ra trong các máy gia tốc khi có sự va chạm hoặc phân rã của các hạt khác, và khi có sự va chạm của các tia vũ trụ.

Nguyên lý bất định *(Uncertainty principle):* Nguyên lý được phát biểu bởi nhà vật lý người Đức Werner Heisenberg, theo đó vận tốc và vị trí của một hạt không thể đo được chính xác đồng thời bất kể dụng cụ đo có thể hoàn thiện tới mức nào: đó chính là sự nhòe lượng tử. Nguyên lý bất định cũng được áp dụng đối với năng lượng và thời gian sống của một hạt sơ cấp. Sự nhòe lượng tử cho phép sự tồn tại của các hạt và phản-hạt ảo.

Nguyên lý bổ sung *(Principle of complementarity):* Nguyên lý được phát biểu bởi nhà vật lý Đan Mạch Niels Bohr, theo đó vật chất và bức xạ có thể vừa là sóng vừa là hạt, hai cách mô tả Tự nhiên này bổ sung cho nhau.

Nguyên lý loại trừ *(Exclusion principle):* Nguyên lý phát biểu bởi nhà vật lý người Đức Wolfgang Pauli, theo đó hai hạt đồng nhất thuộc cùng một loại nào đó (ví như cùng là các electron hoặc cùng là nơtron) không thể ở trong những trạng thái như nhau (tức là được đặc trưng bởi cùng vị trí và cùng vận tốc).

Nguyên lý tương đương (*Equivalence principle*): Nguyên lý là nền tảng của thuyết tương đối rộng của Einstein. Theo nguyên lý này,

trong không-thời gian, chuyển động của một vật trong trường hấp dẫn không khác gì chuyển động với gia tốc đều của vật đó.

Nguyên lý vị nhân *(Anthropic principle):* Ý tưởng theo đó vũ trụ được điều chỉnh một cách rất chính xác để cho con người và ý thức xuất hiện.

Nhân hút lạ *(Strange Attractor):* Tập hợp con các trạng thái có cấu trúc fractal mà một hệ động lực hỗn độn tiến triển hướng tới, độc lập với các điều kiện ban đầu của hệ.

Nơtrinô *(Neutrino):* Hạt sơ cấp không có điện tích và không có khối lượng (hoặc khối lượng rất bé), chỉ chịu tác dụng của lực hạt nhân yếu. Nó tương tác rất yếu với vật chất thông thường.

Nơtron *(Neutron):* Hạt trung hòa tạo bởi ba quark và là một thành phần của hạt nhân nguyên tử cùng với proton. Nơtron nặng hơn electron 1836 lần và có khối lượng gần như proton. Nơtron tự do là hạt không bền, thời gian sống của nó là 15 phút. Nó phân rã thành proton, electron và nơtrino. Nhưng khi ở trong hạt nhân nguyên tử, nơtron không phân rã và cũng bền như proton.

Nuclon *(Nuclon):* Tên gọi chung các hạt tạo nên hạt nhân nguyên tử. Nuclon có thể là nơtron hoặc proton.

Phản-vật chất *(Antimatter):* Vật chất tạo bởi các phản hạt như phản proton, phản electron (tức positron) và phản nơtron. Các phản hạt có hầu hết những tính chất giống như các hạt trừ một điều là điện tích của chúng trái dấu nhau.

Phản-hạt *(Antiparticle):* Hạt sơ cấp tạo nên phản-vật chất và có hầu hết những tính chất giống như các hạt tạo nên vật chất. Một trong những khác biệt chính của hạt và phản-hạt của nó là điện tích của chúng trái dấu nhau.

Phân nhánh *(Bifurcation):* Sự thay đổi đột ngột trong hành vi của

một hệ động lực khi một tham số của hệ vượt quá một giá trị tới hạn nào đó. Hệ khi đó sẽ ở luân phiên giữa hai trạng thái khác nhau.

Phóng xạ (*Radioactivity*): Quá trình phân rã của một số hạt nhân nguyên tử dưới tác dụng của lực hạt nhân yếu, phát ra các hạt dưới nguyên tử và các tia gamma.

Photon *(Photon):* Hạt sơ cấp gắn liền với ánh sáng, không có khối lượng và chuyển động với vận tốc lớn nhất khả dĩ (300000 km/s). Tùy theo năng lượng mà nó mang, hạt ánh sáng có thể là (theo thứ tự năng lượng giảm dần): photon gamma, X, tử ngoại, thấy được, hồng ngoại và vô tuyến (xem H. 37).

Phổ điện từ (*Electromagnetic spectre*): Tập hợp tất cả các bức xạ, từ bức xạ vô tuyến (có năng lượng nhỏ nhất) đến các tia gamma (có năng lượng lớn nhất) (Xem H. 39).

Positron *(Positron):* Phản hạt của electron, có điện tích dương.

Proton *(Proton):* Hạt tích điện dương được cấu tạo bởi ba quark. Proton cũng là một thành phần của hạt nhân nguyên tử cùng với nơtron. Proton nặng hơn electron 1836 lần.

Pulsar *(Pulsar):* Xem Sao nơtron.

Quark *(Quark):* Hạt sơ cấp, thành phần cấu tạo nên proton và nơtron. Các quark có điện tích phân số, dương hoặc âm, với độ lớn bằng ⅓ hoặc ⅔ điện tích của electron và chịu tác dụng của lực hạt nhân mạnh. Hiện nay quark vẫn chỉ là một thực thể lý thuyết vì chưa bao giờ được cô lập trong phòng thí nghiệm. Có 6 loại quark: up, down, strange, charm, bottom và top.

Quasar *(Quasar):* Thiên thể có bề ngoài giống như một ngôi sao (quasar là tên viết tắt của từ tiếng Mỹ "*quasi-star*" nghĩa là "tựa như sao") nhưng có ánh sáng bị dịch rất mạnh về phía đỏ, nên theo định luật Hubble ở khoảng cách rất lớn. Các quasar là những đối tượng

ở xa nhất và sáng nhất trong vũ trụ. Năng lượng lớn như thế của chúng có thể là do một lỗ đen với khối lượng lớn cỡ 1 tỷ Mặt trời nhờ ‘’nuốt” các ngôi sao và thiên hà kề cận.

Quyết định luận (*Determinism*): Khái niệm triết học, theo nó có tồn tại quan hệ nhân quả giữa các hiện tượng vật lý, điều này cho phép tiên đoán hành trạng của các hệ vật lý nếu biết trước các điều kiện ban đầu của chúng.

Sao *(Star):* Quả cầu khí gồm 98% là hiđrô và hêli, 2% là các "nguyên tố nặng" ở trạng thái cân bằng giữa hai lực đối kháng: lực hấp dẫn có xu hướng nén nó lại và lực của bức xạ tạo bởi các phản ứng hạt nhân diễn ra trong lòng nó có xu hướng làm cho nó nổ tung ra.

Mặt trời có khối lượng bằng 2. 10^{33} gam và khối lượng của các sao nằm trong khoảng giữa 0,1 và 100 lần khối lượng Mặt trời.

Sao băng (*Meteor*): Vết sáng tạo ra bởi một tiểu hành tinh nhỏ đi vào khí quyển Trái đất và bị bốc cháy do ma sát mạnh với không khí. Nếu tiểu hành tinh không bị phân hủy hết thì nó sẽ rơi xuống mặt đất dưới dạng những mẩu đá hóa vôi và thường được gọi là vân thạch.

Sao chổi *(Comet):* Những vật thể nhỏ gồm băng và bụi với một nhân bằng đá, quay quanh Mặt trời. Khi tới gần Mặt trời băng bốc hơi tạo thành đầu và đuôi sao.

Sao đôi *(Binary):* Cặp sao liên kết với nhau bằng lực hấp dẫn và quay quanh nhau. Các thiên hà đôi cũng được định nghĩa tương tự.

Sao lùn trắng *(White dwarf):* Thiên thể nhỏ (do đó mới có tên là lùn, đường kính của nó chỉ cỡ 10.000 km, cỡ đường kính Trái đất) và đặc (10^5 đến 10^8 gam trên centimét khối). Sao lùn trắng là kết quả của sự co lại của một ngôi sao có khối lượng nhỏ hơn 1,4 khối lượng Mặt trời đã tiêu hao hết nhiên liệu. Theo nguyên lý loại trừ,

các electron của sao lùn trắng không thể bị nén quá sít nhau và do đó tạo một áp lực chống lại lực hấp dẫn làm cho nó không thể co tiếp được nữa. Chuyển động của các electron làm nóng sao lùn và nó phát ánh sáng trắng ra không gian.

Sao nơtron *(Neutron star):* Thiên thể có kích thước rất nhỏ (bán kính cỡ 10km) và đặc (10^{14} gam trên xentimét khối). Được cấu tạo gần như chỉ bởi các nơtron, nó quay nhanh và phát hai chùm sóng vô tuyến, mỗi vòng mỗi chùm quét qua Trái đất một lần. Sự quét này được biểu hiện bằng sự kế tiếp của các tín hiệu sau những khoảng thời gian cách đều nhau và do đó mà còn có tên là pulsar.

Sao siêu mới (*Supernova):* Cái chết bùng nổ của một ngôi sao nặng (có khối lượng lớn hơn 1,4 khối lượng Mặt trời) đã cạn kiệt nhiên liệu. Lớp bao ngoài của ngôi sao này bị hất ra bên ngoài trong khi lõi của nó co lại để trở thành một sao nơtron (trong trường hợp khối lượng của nó nằm trong khoảng từ 1,4 đến 5 lần khối lượng Mặt trời) hoặc một lỗ đen (trong trường hợp khối lượng của nó lớn hơn 5 lần khối lượng Mặt trời).

Siêu chảy hoặc siêu lỏng (*Superfluid*): Chất lỏng chảy hoàn toàn không chịu lực cản nào. Trong khi các nguyên tử hoặc phân tử của một chất lỏng bình thường có chuyển động ngẫu nhiên sẽ mất mát năng lượng do tỏa nhiệt, thì các nguyên tử hoặc phân tử của chất siêu lỏng lại chuyển động rất có trật tự và kết hợp, điều này làm cho nó hoàn toàn không bị hao tổn năng lượng.

Siêu dẫn (*Superconductivity*): Trạng thái của vật chất trong đó dòng điện không gặp một điện trở nào.

Siêu đối xứng (*Supersymmetry*): Lý thuyết cho rằng các fermion và boson, dù được chúng ta xem là hoàn toàn khác nhau bởi các tính chất và hành trạng của chúng, thực tế lại liên hệ rất khăng khít với nhau (chúng là "đối xứng"). Trong lý thuyết này, tất cả các hạt đều có

một siêu hạt bạn: chẳng hạn siêu hạt bạn của electron là selectron, của lepton là slepton...

Siêu hấp dẫn (*Supergravity*): Lý thuyết có tham vọng thống nhất lý thuyết siêu đối xứng với hấp dẫn.

Siêu không gian (*Hyperspace*): Không gian phẳng giả thuyết mà không gian cong của Vũ trụ chúng ta được ghép vào đó.

Sinh thái quyển (*Ecosphere*): Môi trường Trái đất, gồm nước và không khí, trong đó các sinh vật trên Trái đất phát triển.

Số phức (*Complex number*): Số có dạng $a + ib$ (trong đó a và b là các số thực) gồm hai phần: phần "thực" *a* và phần "ảo" i*b*, trong đó i là đơn vị của phần ảo và nó bằng $\sqrt{-1}$.

Sóng hấp dẫn (*Gravitational wave*): Những gợn sóng trong cấu trúc của không-thời gian, chẳng hạn do sự co lại của một ngôi sao trở thành sao nơtron hoặc thành một lỗ đen, hoặc bởi sự nhập lại của hai lỗ đen. Sóng hấp dẫn truyền với vận tốc bằng vận tốc ánh sáng.

Spin (*Spin*): Một thuộc tính nội tại của các hạt, như khối lượng và điện tích của nó. Spin chỉ nhận các giá trị nguyên (1, 2,...) hoặc bán nguyên (½, ³⁄₂...), thường được xem (nhưng không chính xác) là đặc trưng cho chuyển động tự quay của các hạt đó.

Sức sống luận (*Vitalism*): Học thuyết theo đó các hệ sinh học không thể được quy giản về một tập hợp các phân tử và tương tác giữa chúng, mà có một nguyên lý sức sống khác biệt với cả tâm hồn và cơ thể.

Tachyon (*Tachyon*): Hạt giả thuyết chuyển động nhanh hơn ánh sáng.

Thấu kính hấp dẫn *(Gravitational lens):* Tinh tú (sao, thiên hà, quasar, đám thiên hà) nằm thẳng hàng và ở trong khoảng giữa Trái đất và một tinh tú khác ở xa hơn, có trường hấp dẫn làm lệch các tia

sáng của tinh tú ở xa để tạo ra một ảo ảnh vũ trụ. Ảnh của tinh tú ở xa sẽ được khuếch đại về độ sáng và được nhân lên hoặc bị biến dạng (thành những cung tròn chẳng hạn).

Thế giới các Ý niệm hay Thế giới các Hình thái (*World of Ideas* hay *World of Forms*): Theo Platon, thế giới cảm giác luôn thay đổi, phù du và hư ảo, nó chỉ là sự phản ánh nhợt nhạt của thế giới các Ý niệm, vĩnh cửu, bất di bất dịch và đúng đắn.

Thiên hà *(Galaxy):* Tập hợp gồm trung bình 100 tỷ ngôi sao liên kết với nhau bởi lực hấp dẫn. Thiên hà là đơn vị cơ bản của các cấu trúc lớn trong Vũ trụ.

Thiên hà xoắn *(Spiral galaxy):* Thiên hà với một khối hình cầu các sao nằm ở giữa một đĩa dẹt các sao có chứa khí và bụi giữa các vì sao. Các sao trẻ, nặng và sáng vạch nên những cánh tay đẹp có dạng xoắn ốc nằm trong mặt phẳng đĩa (xem ảnh số 9 thuộc tập ảnh màu).

Thiên nga X-1 (*Cygnus X-1*): Thiên thể có khối lượng lớn trong dải Ngân hà, rất có thể là một lỗ đen. Khí nóng từ khí quyển của ngôi sao bên cạnh rơi vào thiên thể này phát ra một lượng lớn tia X.

Thời gian Planck (*Planck time):* Bằng 10^{-43} giây. Đây là thời điểm mà vật lý hiện đại không còn chỗ đứng hay là giới hạn mà tri thức hiện nay có thể đạt tới. Để vượt qua thời gian Planck, cần phải có một lý thuyết lượng tử về hấp dẫn trong đó lực hấp dẫn được thống nhất với các lực khác. Tuy nhiên, lý thuyết này hiện còn đang được xây dựng.

Thuyết hành vi *(Behaviorism):* Một trào lưu tâm lý học xem hành vi như một đối tượng nghiên cứu bằng phương pháp quan sát. Thuyết này loại trừ tất cả những gì không thể quan sát được trực tiếp, như tư duy chẳng hạn.

Thuyết tương đối hẹp *(Special relativity):* Lý thuyết về chuyển động

tương đối do Einstein đề xướng năm 1905. Lý thuyết này chứng minh rằng không gian và thời gian liên hệ mật thiết với nhau, chúng không còn có tính phổ quát nữa mà phụ thuộc vào chuyển động của người quan sát. Tương tự, khối lượng cũng phụ thuộc vào chuyển động. Trong lý thuyết này, vận tốc của ánh sáng là như nhau (300.000 km/s) đối với tất cả mọi người quan sát.

Thuyết tương đối rộng *(General relativity):* Lý thuyết về hấp dẫn được Einstein đề xướng vào năm 1915. Lý thuyết này liên hệ một chuyển động có gia tốc với trường hấp dẫn và với hình học của không-thời gian.

Tia vũ trụ *(Cosmic ray):* Các hạt (chủ yếu là các proton và electron) được gia tốc tới năng lượng rất cao bởi các vụ nổ sao siêu mới và bởi từ trường ở giữa các vì sao xâm nhập vào khí quyển Trái đất với năng lượng rất cao.

Tiến động (của Trái đất) (*Precession*): Chuyển động chậm (với chu kỳ 26.000 năm) của trục quay Trái đất tạo nên một hình nón do lực hấp dẫn của Mặt trăng và Mặt trời gây ra.

Tiểu hành tinh *(Asteroid):* Các thiên thể bằng đá với kích thước có thể đạt tới 1.000 km, nhưng có dạng không đều, không có khí quyển; chuyển động theo những quỹ đạo xung quanh Mặt trời. Số lượng các tiểu hành tinh tăng rất nhanh khi kích thước của chúng giảm xuống. Có khoảng 1.000 tiểu hành tinh có đường kính lớn hơn 1km.

Tính chất đột sinh (*Emergent property*): Đây là tính chất của một hệ phức tạp không được xác định hoặc giải thích thông qua tính chất của các thành phần cấu tạo nên hệ đó. Nói một cách khác, cái toàn thể lớn hơn tổng của các thành phần.

Tinh thể áp điện (*Piezocrystal*): Tinh thể tạo ra hiệu điện thế khi nó bị nén hoặc kéo giãn.

Tổng thể luận (*Holism*): Khái niệm triết học đối lập với quy giản luận. Trong khi nhà quy giản luận cho rằng cái toàn bộ có thể được phân tích thành những bộ phận cấu thành được coi như cơ bản, thì nhà tổng thể luận lại cho rằng cái tổng thể mới là cơ bản và nó không thể được quy giản về nghiên cứu các thành phần của nó được, vì tổng thể thường lớn hơn tổng các thành phần cấu tạo nên nó.

Trắc nghiệm Turing (*Turing test*): Phép trắc nghiệm do nhà toán học Anh Alan Turing đề xuất nhằm xác định một máy có trí tuệ hay không.

Vành đai các tiểu hành tinh (*Asteroid belt*): Vùng nằm trong Hệ Mặt trời ở giữa quỹ đạo của Hỏa tinh và Mộc tinh, trải dài trên khoảng cách từ 2,2 đến 2,3 lần khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trời, nơi quần tụ của hầu hết các tiểu hành tinh.

Vành đai Kuiper (*Kuiper belt*): Vùng dự trữ vật chất sao chổi, nằm sát ngay phía ngoài quỹ đạo của Diêm Vương tinh.

Vật chất tối hay vật chất không nhìn thấy (*Dark matter* hay *Invisible matter):* Vật chất có bản chất còn chưa biết, không phát ra bất cứ bức xạ nào, nhưng sự hiện diện của nó được thể hiện bởi lực hấp dẫn mà nó tác dụng lên các ngôi sao và các thiên hà. Vật chất tối có thể chiếm từ 90% đến 98% tổng khối lượng của Vũ trụ.

Vết Đỏ Lớn (*Large Red Spot*): Chuyển động cuộn xoáy lớn của khí có màu đỏ gạch ở bán cầu Nam của Mộc tinh. Màu của Vết là do các tạp chất trong các tinh thể đóng băng của amôniac. Vết đỏ này đã tồn tại suốt ba thế kỷ nay và là hệ quả của các hiện tượng hỗn độn trong khí quyển Mộc tinh.

Vũ trụ song song /đa vũ trụ *(Paralell or Multiple universes):* Các vũ trụ tồn tại song song nhưng hoàn toàn tách rời Vũ trụ chúng ta và do đó không thể tiếp cận quan sát được. Cơ học lượng tử và một số lý thuyết về Big Bang tiên đoán sự tồn tại của các vũ trụ song song này.

W (*W*): Hạt tích điện truyền lực hạt nhân yếu.

Wino (*Wino*): Hạt bạn siêu đối xứng của boson W. Đây mới chỉ là hạt giả thuyết.

Z (*Z*): Hạt trung hòa truyền lực hạt nhân yếu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Bản liệt kê dưới đây chưa phải đã là đầy đủ nhưng là điểm xuất phát tốt cho những ai muốn hiểu biết thêm.

Barrow John, *Pi in Sky*, Oxford University Press, 1992, New York

Davies Paul, *The Cosmic Blueprint*, Simon and Schuster, 1987, New York

Davies Paul, *The Mind of God*, Simon and Schuster, 1992, New York

Davies Paul and Gribbin John, *The Matter Myth*, Simon and Schuster, 1992, New York

Gleick James, *La Theorie du chaos*, Flammarion, 1991, Paris

Kane Gordon, *Le Jardin des particules*, Mason, 1996, Paris

Mandelbrot Benoit, *Les Objets fractals*, Flammarion, 1989, Paris

Monode Jacques, *Le Hasard et la nécessité,* La Seuil, 1970, Paris

Penrose Roger, *L'Esprit, l'ordinateur et les lois de la physique*, InterEditions, 1992, Paris

Peterson Ivars, *Newton's Clock: Chaos in the Solar System,* W.H. Freeman, 1993, New York

Poincaré Henry, *La Science et l'hypothèse*, Flammarion, 1968, Paris

Prigogine Ilya, *La Fin des certitudes*, Éditions Odile Jacob, 1996, Paris

Pullman Bernard, *L'Atome dans l'histoire de la pensée humaine,* Fayard, 1995, Paris

Ruelle David, *Hasard et chaos*, Éditions Odile Jacob, 1991, Paris

Schrodinger Erwin, *Qu'est-ce que la vie?*, Christian Bourgois, 1986, Paris

Steward Ian, *Dieu joue-t-il aux dés?*, Flammarion, 1992, Paris

Thorn Kip, *Trous noirs et distorsions du temps*, Flammarion, 1997, Paris

Trịnh Xuân Thuận, *Giai điệu bí ẩn, NXB Khoa học Kỹ thuật, 2000, 2001, 2006, Hà Nội. (Bản dịch của Phạm Văn Thiều)*

Weinberg Steven, *Le Monde des particules*, Pour la Science, 1985, Paris

Zee Anthony, *Fearful Symmetry*, Macmillan, 1986, New York 1986

MỤC LỤC

HỖN ĐỘN VÀ HÀI HÒA

Trịnh Xuân Thuận

Phạm Văn Thiều, Nguyễn Thanh Dương dịch

Chịu trách nhiệm xuất bản: NGUYỄN MINH NHỰT
Chịu trách nhiệm nội dung: NGUYỄN THẾ TRUẬT
Biên tập: VĨNH THẮNG
Bìa: BÙI NAM
Sửa bản in: LAM TĨNH
Trình bày: VẠN HẠNH

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ
161B Lý Chính Thắng - Quận 3 - Thành phố Hồ Chí Minh
ĐT: 39316289 - 39316211 - 38465595 - 38465596 - 39350973
Fax: 84.8.8437450 - E-mail: nxbtre@hcm.vnn.vn
Website: http://www.nxbtre.com.vn

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI
Số 21, dãy A11, khu Đầm Trấu, p. Bạch Đằng, q. Hai Bà Trưng, Hà Nội
ĐT: (04)37734544 - Fax: (04)35123395
E-mail: chinhanh@nxbtre.com.vn

CÔNG TY TNHH SÁCH ĐIỆN TỬ TRẺ (YBOOK)
161B Lý Chính Thắng, P.7, Q.3, Tp. HCM
ĐT: 08 35261001 – Fax: 08 38437450
Email: info@ybook.vn
Website: www.ybook.vn

Hỗn độn và hài hòa

Cùng với Lý thuyết hỗn độn, tính ngẫu nhiên và phi tất định đã tràn ngập không chỉ trong thế giới hằng ngày của chúng ta mà cả trong thế giới các thiên hà. Và sự phát triển của những ý tưởng dẫn tới quan niệm mới đó về thế giới đã được vạch ra thật rõ ràng trong cuốn sách *Hỗn độn và hài hòa*, bằng một ngôn ngữ giản dị, thông qua những ví dụ được rút ra từ vật lý thiên văn, vật lý học, sinh học và toán học.

Tác phẩm được viết đơn giản để ngay cả người không có nền tảng kiến thức về kỹ thuật cũng hiểu, và đặc biệt dành cho những ai tò mò muốn biết không chỉ những điều kỳ lạ mới nhất của khoa học ở thế kỷ XX mà cả hệ quả triết học và thần học của chúng.

"Bằng cách hãm bớt sự đỏng đảnh của Trái đất, Mặt trăng đã cho phép con người xuất hiện trên hành tinh này. Lại một lần nữa, chúng ta cần phải đánh giá được ở đây vai trò cơ bản của cái ngẫu nhiên trong việc nhào nặn nên thực tại. Một cú va chạm tình cờ của một thiên thạch với Trái đất đã tạo ra Mặt trăng và nhờ đó mà sự sống xuất hiện."



facebook.com/
nhaxuatban.tre

nxbtre.com.vn